

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

Vícekritériální analýza toku materiálu ve výrobě plastových výlisků

Multi-Criteria Analysis of Material Flow in Plastic Moldings Production

Student:

Bc. Zdeněk Minář

Osobní číslo

MIN0083

Vedoucí diplomové práce:

prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.

Ostrava 2020

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Zdeněk Minář**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 6208T116 Průmyslové inženýrství
Téma: **Vícekritériální analýza toku materiálu ve výrobě plastových výlisků**
Multi-Criteria Analysis of Material Flow in Plastic Moldings Production
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Teoretická východiska více kritériální analýzy
2. Možnosti aplikace vícekritériální analýzy ve prototypové výrobě
3. Návrh řešení toku materiálu v provozu lisovny
4. Technické a ekonomické hodnocení návrhu

Seznam doporučené odborné literatury:


JABLONSKÝ, Josef. *Operační výzkum – kvantitativní modely pro ekonomické rozhodování*. Professional Publishing, Praha 2002, s. 320, ISBN 80-86419-23-1.
FIALA, Petr; JABLONSKÝ, Josef; MAŇAS, Miroslav. *Vícekritériální rozhodování*. Praha: Vysoká škola ekonomická v Praze, 1994. ISBN 80-7079-748-7.
ŽÁČEK, Vladimír. *Rozhodování v managementu: Teorie, příklady, řešení*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2015. ISBN 978-80-01-05804-6.
FOTR, Jiří; DĚDINA, Jiří. *Manažerské rozhodování*. Praha: Vysoká škola ekonomická v Praze, 1993. ISBN 80-7079-939-0.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.**

Datum zadání: 20.12.2019

Datum odevzdání: 18.05.2020


Ing. Lucie Krejčí, Ph.D.
vedoucí katedry





prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V práci jsem použil interní údaje získaných od firmy MTT s. r. o., Valašské Meziříčí, firma s jejich zveřejněním souhlasí.

V Ostravě dne 18. května 2020.

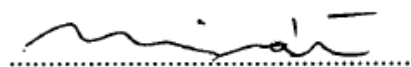

.....

Podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- беру на вѣдомі, же Высoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou diplomovou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této diplomové práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- беру на вѣдомі, же podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů - že tato diplomová práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 18. května 2020.



Podpis studenta

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

MINÁŘ, Z. *Vícekritériální analýza toku materiálu ve výrobě plastových výlisků: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2020, 85 s, Vedoucí práce: Hrubý, J.

Diplomová práce se zabývá pracovními procesy při výrobě prototypových plastových výlisků vstřikovací technologií. Jsou v ní popsány výrobní činnosti hlavních provozů firmy, které se na tomto složitém produkčním procesu podílí. Práce je pak především zaměřena na funkční provoz lisovny. Popisuje sled pracovních úkonů v lisovně a specifikuje pomocí síťové analýzy CPM „kritickou cestu“. V dalším kroku konkretizuje nejdéle trvající činnost v daném logistickém sledu výrobních operací. Tuto určitou část výroby pak co nejvíce upřesňuje, analyzuje a posuzuje její ovlivnitelnost. Pomocí vícekritériální analýzy následně navrhuje komplexní řešení, které splňuje výrobní požadavky v podobě inovace této konkrétní pracovní činnosti.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

MINÁŘ, Z. *Multi-Criteria Analysis of Material Flow in Plastic Moldings Production: Master Thesis*. Ostrava: VSB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Mechanical Technology, 2020, 85 p, Thesis head: Hrubý, J.

Master thesis is dealing with working processes in production of prototype plastic moldings by injection technology. It describes the production activities of the main operations of the company involved in this complex production process. The work is then mainly focused on the functional operation of the press shop. It describes the sequence of operations in the press shop and specifies the “critical path” using CPM network analysis. In the next step, it specifies the longest-running work activity in a given logistical sequence of production operations. This certain part of the production is then specified as much as possible, analyzed and its influence can be assessed. Using multi-criteria analysis, he then designs a comprehensive solution that meets the production requirements in the form of innovation of this particular work activity.

Obsah

Seznam použitých značek a symbolů	8
Úvod	9
1 Firma Moulds and Tools - Technic s.r.o.	10
1.1 Organizační struktura	11
1.2 Export plastových výlisků:	12
2 SWOT analýza u MTT	13
3 Porterova analýza pěti sil u MTT	14
4 Základní provozní rozdělení	15
4.1 Oddělení konstrukce a programování	15
4.2 CNC obrábění	16
4.3 Nástrojárna	17
4.4 Lisovna plastových výlisků	19
4.4.1 Technologie vstřikování	19
4.4.2 Používaná strojní zařízení	20
4.4.3 Termoplasty pro vstřikování:	21
4.5 Měřicí a výstupní kontrola	22
4.5.1 3D Měřicí přístroj	22
5 Síťová analýza – CPM	24
5.1 Propočty časových hodnot	24
5.2 Výrobní činnost	26
5.2.1 Popis pracovních činností v provozu lisovny	26
5.3 Síťová analýza – metoda kritické cesty	36
5.3.1 Síťový graf	36
5.3.2 Cesty v grafu výčtem uzlů	37
5.3.3 Tabulkový propočet všech časových rezerv	38
5.3.4 Modifikace kritické cesty	40
5.4 Navrhovaná výměna sušicího zařízení	40
6 Sušení materiálů	41
6.1. Projevy vlhkosti v materiálu	42
6.1 Měřicí přístroj pro měření obsahu vlhkosti	43
6.3 Typy sušiček	44
7 Vícekriteriální rozhodování	47
7.1 Výběr vhodného typu sušicího zařízení	47

7.2 Metoda pořadí	47
7.2 Podtlakové sušičky vs. konvenční sušení.....	53
7.3 Vícekriteriální analýza podtlakových sušiček.....	54
7.3.1 Popis vybraných modelů	55
7.4 Metoda porovnání v trojúhelníku páru.....	59
7.5 Bazická metoda	65
7.6 Metoda PATTERN.....	69
8 Návratnost investice do projektu.....	75
9 Shrnutí a přínos	76
10 Diskuze a závěr	77
Seznam použité literatury.....	80
Seznam obrázků	82
Seznam tabulek	83
Seznam příloh.....	84

Seznam použitých značek a symbolů

Značka	Název veličiny	Jednotka
B_j	Koeficient významnosti jednotlivých kritérií	[-]
B_{jN}	Normovaný koeficient významnosti	[-]
CPM	Critical Path Method	[-]
$CR_{i,j}$	Celková časová rezerva činnosti	[min]
$D(y_{i,j})$	Čas konání činnosti	[min]
$h_{b,j}$	Hodnota j-tého kritéria u bazické varianty	[-]
$h_{i,j}$	Hodnota j-tého kritéria u i-té varianty	[-]
$I_{i,j}$	Index j-tého kritéria u i-té varianty	[-]
i	Výchozí uzel	[-]
j	Navazující uzel	[-]
m	Počet kritérií	[-]
m_1	Hmotnost vzorku před sušením	[g]
m_2	Hmotnost vzorku po sušení	[g]
N	Počet kombinací porovnání v trojúhelníku párů	[-]
NMK ($t_j^{(0)}$)	Nejdříve možný konec činnosti	[-]
NMT (TE)	Nejdříve možný termín uzlu	[-]
NMZ ($t_i^{(0)}$)	Nejdříve možný začátek činnosti	[-]
NPK ($t_j^{(1)}$)	Nejpozději přípustný konec činnosti	[-]
NPT (TL)	Nejpozději přípustný (nevyhnutelný) termín uzlu	[-]
NPZ ($t_i^{(1)}$)	Nejpozději přípustný začátek činnosti	[-]
$NR_{i,j}$	Nezávislá časová rezerva	[min]
p	Počet expertů	[-]
S_j	Hodnota relativní užitenosti j-tého kritéria	[-]
TS (λ)	Autoritativně určený termín ukončení práce	[-]
$VR_{i,j}$	Volná časová rezerva	[min]
w	Hmotnostní procenta	[%]
Z	Návratnost	[roky]
$z_{i,j}$	Kritéria	[-]
$ZR_{i,j}$	Závislá časová rezerva	[min]
$\beta_{k,j}$	Číselná známka přiřazena k-tým expertem j-tému kritériu	[-]
$\gamma_{k,j}$	Počet bodů přiřazených j-tému kritériu k-tým expertem	[-]

Úvod

Výroba plastových výlisků za použití vstřikovací technologie je v současné době nejrozšířenější metoda výroby. Tato metoda výroby díky neustálé modernizaci vstřikovacích strojů a všech zařízení určených k této pracovní činnosti, urazila od svého počátku velmi úspěšnou a dlouhou cestu. Nejvíce pak v druhé polovině minulého století, kdy probíhal expanzní a masový rozvoj vstřikovací technologie. Metoda vstřikování je díky širokému spektru využití plastových produktů stále perspektivní a žádaná ve všech odvětvích a oblastech průmyslu. Zřejmě největší zásluhu na rozvoji této technologie mají automobilové a elektrotechnické firmy. Ty pak v hojné míře tyto plastové výrobky, které se vyznačují vysokou přesností, jak rozměrovou, tak tvarovou, využívají pro svá zařízení.

Pracuji ve firmě, která se zabývá komplexní výrobou prototypových plastových výlisků vstřikovací technologií. Vstřikovací technologie se zakládá na principu dvou hlavních na sobě závislých funkčních zařízení – vstřikovací lis a vstřikovací forma. Převážná produkce těchto produktů je určena pro automobilový průmysl. V tomto složitém pracovním procesu mají vyrobené produkty charakter kompletního výrobku (např. blatníky) nebo zastávají funkci různých dílů, polotovarů a částí určitých samostatných celků určených k cílové kompletaci.

Cílem této diplomové práce je poukázat a charakterizovat problematiku výroby plastových výrobků. Představit a popsat hlavní provoz y firmy zabývající se touto produkcí (Oddělení konstrukce a programování, CNC obrábění, Nástrojárna, Lisovna). Zaměřit se na celkový pracovní proces při produkci plastových výlisků v provozu lisovny. Konkretizovat a vysvětlit logistický řetězec hlavních výrobních činností a pomocí CPM síťové analýzy najít kritickou cestu těchto aktivit. Následně pak na zjištěné kritické cestě identifikovat nejdéle trvající pracovní činnost. Na základě tohoto zjištění pak tuto funkční část výroby co nejvíce analyzovat a potom navrhnout komplexní inovační řešení této pracovní činnosti pomocí vícekritériální analýzy. Inovační řešení musí splňovat všechny aspekty a požadavky výrobního procesu.

1 Firma Moulds and Tools - Technic s.r.o.

Firma **Moulds and Tools - Technic s.r.o.** je soukromá firma, která se dynamicky rozvíjí od roku 1999. V segmentu trhu je zaměřena na komplexní výrobu vstřikovacích forem. Tyto vstřikovací formy jsou prototypové nebo malosériové. Ve své celkové výrobě má zahrnuto kromě výroby forem taky vývoj produktů, design tvaru i konečné odlisování plastových výrobků vstřikovací technologií.

Specializuje se výhradně na výrobu forem ze slitin hliníku. Největší výrobní podíl připadá na automobilový průmysl. Právě v tomto odvětví excelují přednosti prototypových forem. Zejména schopnost opětovaně měnit geometrii tvaru, tvarové dutiny vstřikovací formy, při časovém tlaku na dokončení vzorků. Díky bohatým zkušenostem získaných praxí, dokáže během krátkého časového intervalu (dny) zrealizovat konstrukční přípravu výroby, samotnou výrobu formy i vlastní vzorkování plastových dílů vstřikovací technologií. Vzhledem k tomu, že se zaměřuje výhradně na prototypové formy, je její dominantní prioritou pružnost a rychlost výroby. Na obr. č. 1.1 je zobrazeno logo firmy Moulds and Tools – Technic s.r.o..¹⁴

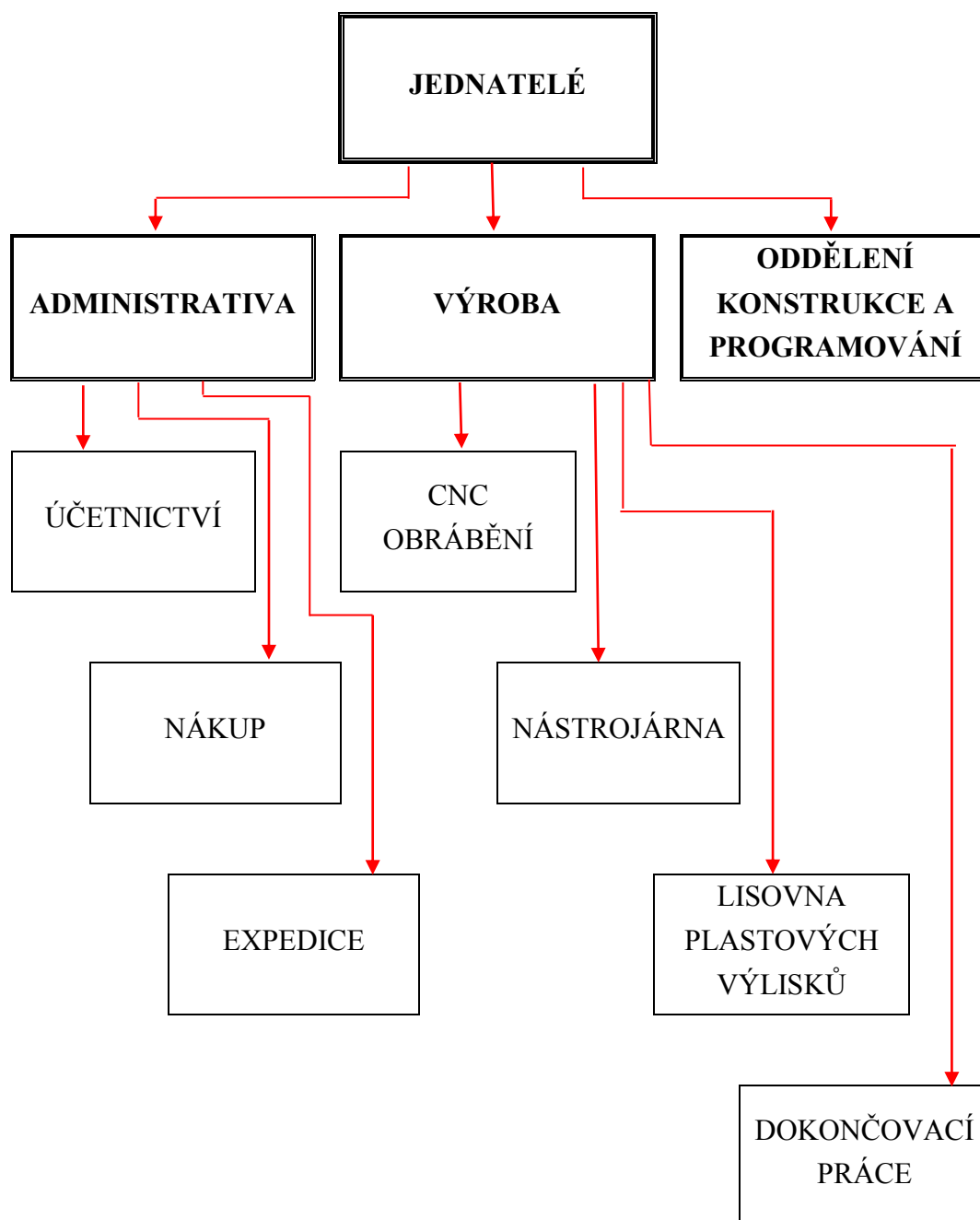
Výhody výrobního procesu

Tento výrobní proces má významné uplatnění i v jiných oborech, kde je prioritou nízká cena, rychlost výroby (čas) a malé série výrobků. Může se stát, že přijde zákazník pouze s nápadem a vizí produktu (např. různé sportovní doplňky) a ve spolupráci s technikou konstrukčního oddělení se vyvine technické zpracování dané zakázky. Ve finálním zpracování pak vzniká nejen výrobní vstřikovací forma, ale i kompletní výroba a dodávky vlastních plastových výrobků.¹⁴



Obr. 1.1 Logo firmy MTT ⁴

1.1 Organizační struktura



Obr. 1.2 Schéma organizační struktury

1.2 Export plastových výlisků:

Firma zajišťuje kompletní dodávky svých plastových produktů všem podnikům, které projeví zájem. Zvláště důležité je to u vývozů dodávek do zahraničí. Je schopna po celou trasu cesty převoz produktů kontrolovat a tím dodržet včasný termín dodání na cílové místo. Nejčastěji své prototypové produkty exportuje do Německa a Rakouska. Firma je schopna za rok vyrobit okolo 300 – 350 hliníkových vstřikovacích forem.

Největší odběratelé:

- ANTOLIN CZECH REPUBLIC s.r.o.
- Varroc Lighting Systems, s.r.o.
- HELLA AUTOTECHNIK NOVA, s.r.o.

Dodavatelé materiálu:

Hliník na výrobu forem:

- ALFUN a.s.
- AMARI Austria GmbH
- GLEICH Aluminium s.r.o.

Příslušenství do hliníkových forem:

- DME Czech Republic s.r.o.

Plastový materiál na výrobu plastových výlisků v podobě granulí si dodávají odběratelé sami.

2 SWOT analýza u MTT

SWOT analýza je jednou z nejdůležitějších součástí marketingové strategie.

- ✚ Strengths - silné stránky
- ✚ Weaknesses - slabé stránky
- ✚ Opportunities - příležitosti
- ✚ Threats - hrozby

Tab. 1 SWOT analýza

SWOT	
Silné stránky	Příležitosti
rychlost a pružnost výroby	plné využití moderních strojů a technologií v obrábění
nízká cena	vzorkování forem na moderních vstřikovacích lisech
možnost snadných úprav	možnost výroby výlisků do různých průmyslových odvětví
kvalita dílů srovnatelná se sériovou produkcí	oslovení nových tuzemských i zahraničních zákazníků
možnost použití libovolného termoplastu	nabídka výroby specifických dílů za pomoci přídavných zařízení
Slabé stránky	Hrozby
uchovávání velkého množství forem a materiálů od zákazníků na smlouvenou dobu	nedostatek pracovní činnosti
přeplněné sklady forem	propouštění zaměstnanců
přeplněné sklady plastového materiálu	pokles příjmů atd.

3 Porterova analýza pěti sil u MTT

1) Stávající konkurence

Opatření – včasná reakce na měnící se tržní podmínky a akce konkurenta:

- snížení cen,
- zvýšení kvality,
- kvalitnější služby a reklamy,
- poskytnutí nadstandardní záruky.

2) Potenciální konkurenti

Díky těmto aspektům firma do určité míry tvoří bariéru potenciálním konkurentům:

- dlouholeté zkušenosti (20 let),
- pracovní – know-how.

3) Substituční produkty

Vzhledem k tomu, že se jedná o prototypovou výrobu, kde zákazník na základě různých praktických zkoušek postupně zkoumá, řeší a navrhuje inovaci a „dospělost“ produktu, **nemůže být tento produkt žádným jiným nahrazen.**

4) Vliv odběratelů

Zákazníci v dnešní době mohou využít u některých produktů 3D plastovou tiskárnu:

- úspora investic do vstřikovací formy.

Nelze využít plastovou tiskárnu u např. zrcadlově hladkých dílů:

- paraboly a přední čiré kryty světlometů,
- plastové čočky aj.

5) Vliv dodavatelů

Nežádoucí vliv dodavatelů se může projevit těmito stavy:

- neakceptovatelné zvýšení cen,
- nedostatek materiálů z různých příčin,
- opožděné dodávky materiálů.

Opatření:

- vyjednat a ustanovit přijatelné podmínky,
- zajistit nového dodavatele.

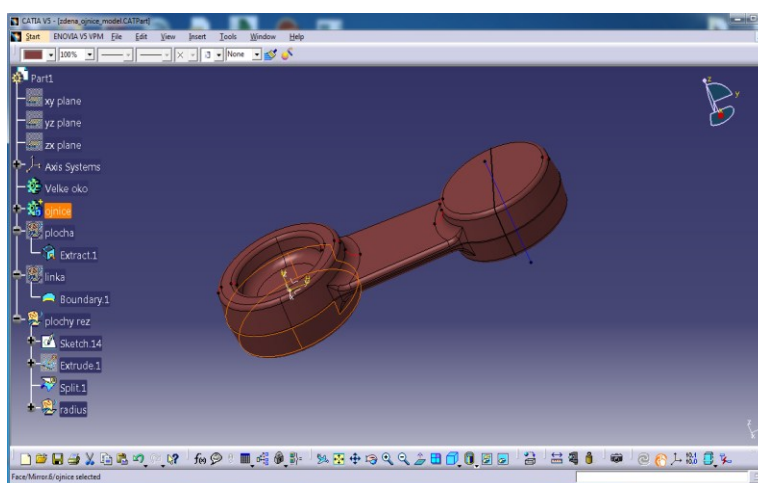
4 Základní provozní rozdělení

Firma je rozdělena do čtyř hlavních provozů:

- 1) ODDĚLENÍ KONSTRUKCE A PROGRAMOVÁNÍ
- 2) CNC OBRÁBĚNÍ
- 3) NÁSTROJÁRNA
- 4) LISOVNA PLASTOVÝCH VÝLISKŮ + MĚŘICÍ A VÝSTUPNÍ KONTROLA

4.1 Oddělení konstrukce a programování

V oddělení konstrukce a programování se realizuje technická příprava výroby. Na základě výkresové dokumentace a 3D modelu se zde realizuje následný výrobní proces. Technici v tomto oddělení musí mít hluboké znalosti výrobních technologií, materiálů a CAM, CAD programů. Májí za úkol připravit výrobním pracovníkům reálné podmínky pro jejich práci. Především se jedná o modelování a tvorbu obráběcích programů pro CNC obráběcí centra. Pracovníci v oddělení konstrukce a programování do značné míry ovlivňují kvalitu výroby a taky celkové výrobní náklady. Na obr. č. 4.1 je ukázka 3D modelu v programovém systému CATIA.



Obr. 4.1 ukázka 3D modelu

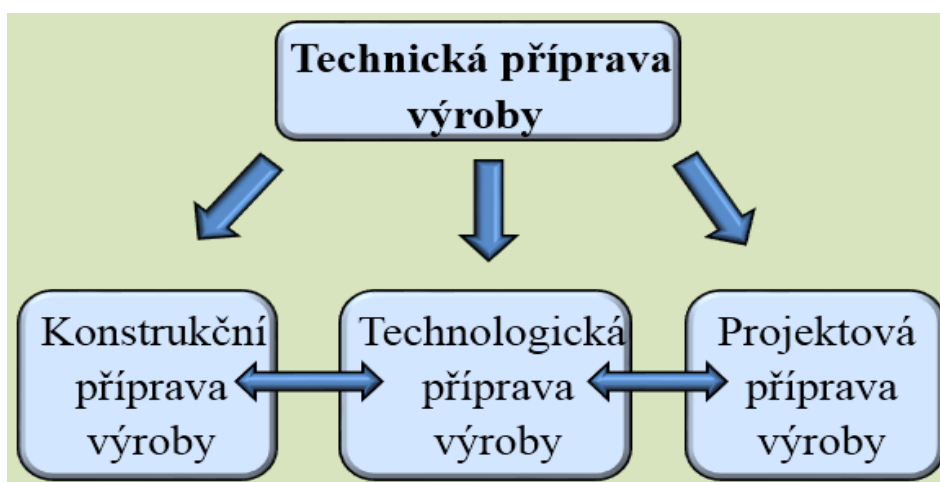
Technická příprava výroby – technicko-organizační souhrn činností, které jsou zaměřeny na zpracování konstrukční, projektové a technologické dokumentace.

Konstrukční příprava výroby – souhrn činností při výrobním konstruování a případné modernizaci produktů.

Technologická příprava výroby – tvorba výrobní dokumentace, která ve své informovanosti především zahrnuje zajištění výroby, montáž, manipulaci a kontroly.

Projektová příprava výroby – souhrn činností při navrhování organizace výroby.

Na obr. 4.2 je znázorněná návaznost technické přípravy výroby.



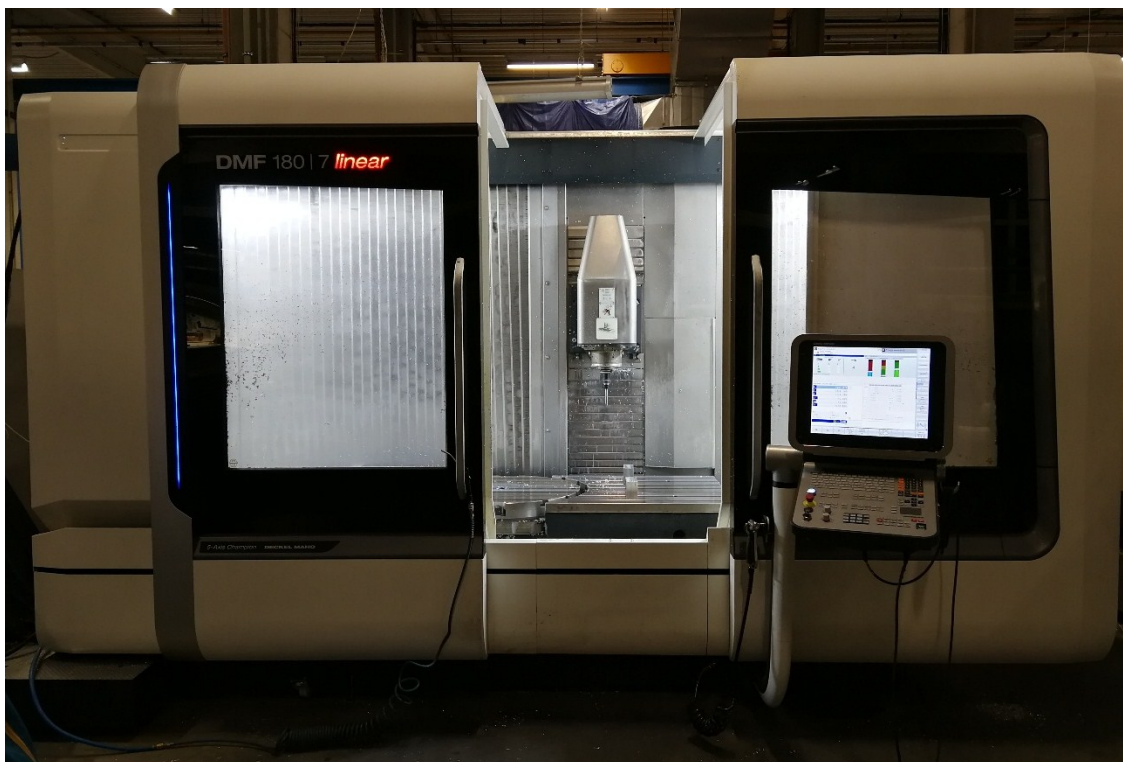
Obr. 4.2 Návaznost Technické přípravy výroby

4.2 CNC obrábění

Firma disponuje moderním vybavením jak z hlediska strojního zařízení, tak z hlediska nástrojů a příslušenství renomovaných firem. To umožňuje dosažení vysoké produktivity. Kombinace spojení vysoce přesných moderních obráběcích CNC center s velmi výkonným CAM systémem realizuje plné využití HSC technologie obrábění. Kvalitu obrábění pak zajišťuje aplikace kvalitních, moderních a přesných řezných nástrojů.¹⁴

Obrábění kovů – je třískové obrábění. Jedná se o technologický proces, při kterém břit (nástroj) vniká do materiálu a jeho odebíráním v podobě třísky vytváří požadovaný tvar obráběné součásti (obrobku). Tento pak disponuje svou rozměrovou a tvarovou přesností.

CNC je anglická zkratka „Computer Numerical Control“. Jedná se o zkratku, která má v češtině ve spojení s obráběcím strojem, ekvivalent „počítačem řízený obráběcí stroj“. CNC obráběcí centrum dokáže obrábět obrobek na základě počítačového řídicího systému a vyznačuje se velmi vysokou přesností. Stroj zvládá víceosé obrábění, což značně urychluje výrobní proces, hlavně u velmi složitých tvarových částí obrobku. Díky početnému výměnnému zásobníku na obráběcí nástroje, CNC centrum dokáže realizovat rozličné technologické a obráběcí operace bez přerušení výrobního procesu (frézování, soustružení, vrtání, řezání závitů atd.). Na obr. 4.3 je znázorněno CNC obráběcí centrum.



Obr. 4.3 Obráběcí CNC centrum

4.3 Nástrojárna

V tomto provozu se skládá, kompletuje a dokončuje technologickými úpravami vstřikovací forma (např. leštění tvaru na požadovanou drsnost, skládání a zabrušování vyhazovacích kolíků, lícování pohyblivých vložek, vrtání děr pro zahřívací médium, aj.).

Vstřikovací forma je komplex složitých mechanismů, které musí splňovat požadovaná pracovní kritéria při výrobě plastových výlisků. Jedná se o kovový komplex, který je složen z mechanických konstrukčních dílců. Styl zvolené pracovní technologie a způsob uspořádání kovových konstrukčních dílců závisí na požadavcích, které ovlivňují celkovou činnost formy (mechanické a tepelné zatížení, zvolený druh materiálu aj.). Po celou dobu své pracovní funkčnosti a životnosti, musí vstřikovací forma plnit tyto důležité požadavky:

- odolávat a vydržet vysoké tlaky,
- odolávat vysokým silám vstřikované plastové taveniny,
- zaručit rozměrovou a tvarovou přesnost výlisků,
- zajistit nepoškozující vyhození výlisku z tvarové dutiny,
- vydržet zátěž v cyklickém zatížení v automatickém provozu,
- snadno přístupná k obsluze, opravě a celkové údržbě.

Vstřikovací formy jsou různé a konstrukčně rozmanité. Technicky se dají rozdělit do těchto základních skupin:

- dle násobností výlisků na vícenásobné a jednonásobné,
- dle konstrukční kompozice na – vytáčecí, čelist'ové, etážové, dvoudeskové, třídeskové aj.,
- dle konstrukce vstřikovacího stroje na formy se vstřikem kolmým na dělicí rovinu a se vstřikem do dělicí roviny.

Vstřikovací forma je zkonstruovaná ze dvou hlavních částí:

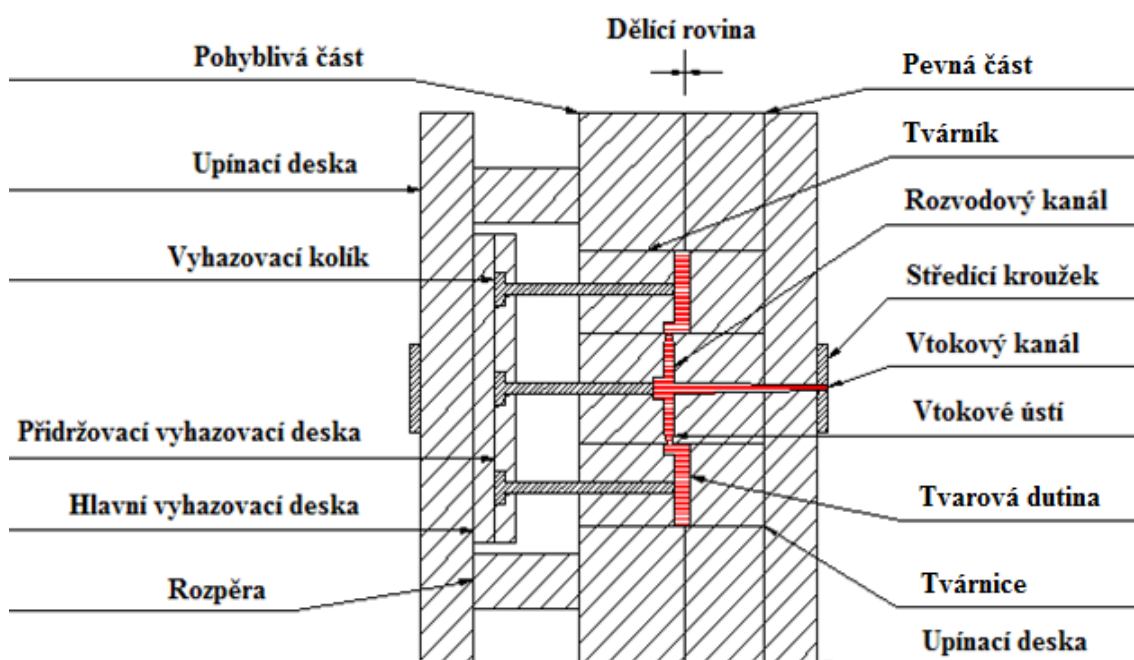
Konstrukční část – slouží k nechybnému chodu formy při pracovním procesu.

Funkční část – slouží k tvarování výstřiku taveniny do podoby tvarové dutiny formy.

Vstřikovací forma se skládá:

- ze segmentů dílů a vložek vymezujících tvarovou dutinu,
- z vyhazovacího systému výlisků,
- z upínacích a vodících elementů,
- z vtokového systému,
- z temperovacího systému.

Konstrukční a funkční části vstřikovací formy znázorněny na obr. 4.4.



Obr. 4.4 Schéma konstrukčních a funkčních částí vstřikovací formy

4.4 Lisovna plastových výlisků

4.4.1 Technologie vstřikování

Vstřikovací technologie je technologie tlakového lití plastové taveniny. Provádí se při tokových vlastnostech daného termoplastu při zadaných zpracovatelských teplotních podmínkách a parametrech. Kompletní průběh výrobního cyklu se cyklicky opakuje a skládá z mnoha pracovních úkonů. Pracovní postup lze realizovat za použití rozličných plastových materiálů (reaktoplasty, termoplasty, elastomery a kaučuky). Plastové materiály se neustále vyvíjí, a to umocňuje a přispívá ke stále novým a modernějším technologiím v tomto výrobním odvětví. K tomuto posunu ke stále dokonalejším technologiím nejvíce přispívá vývoj vstřikovacích strojů a jejich vstřikovacího zařízení, které samotnou modifikaci vstřikovacího průběhu a procesu v praxi vykonávají.^{8,15}

Nejčastěji používané vstřikovací modifikace výrobního procesu:

- vstřikování vícekomponentní,
- využití tlaku vody nebo tlaku inertního plynu (dusík) u vstřikování dutých dílů,
- technologii vstřikování strukturně odlehčených plastů,
- vstřikování kaskádové,
- kombinované modifikované procesy.

Princip vstřikovací technologie

Tváření a zpracování plastů je základní princip vstřikovací technologie. Teplotním zatížením daného plastu se připraví v tavících komorách co nejhomogennější tavenina, která se za pomoci vstřikovacího tlaku a vstřikovací rychlosti vstříkne do předem temperované tvarové dutiny formy. Za pomoci působení konečné dotlakové fáze vstřikovacího procesu se eliminuje tepelná objemová kontrakce. Po uplynutí chladicí doby je pak následně vzniklý výlisek vyhozen vyhazovacími kolíky z tvarové dutiny formy ven. Tento konečný produkt už musí splňovat veškerá kritéria a přesně stanovené požadavky.

Postup vstřikování

Plastový granulovaný materiál je nasypán do násypky vstřikovacího stroje. Přes násypku následně plastový materiál propadáva do oblasti šnekovací komory. Zde ho šnek v podobě šroubovice otáčejícím se pohybem dopravuje do tavících komor, kde se za působení tření a nastavených teplotních hodnot mění v homogenní taveninu. Tato plastová tavenina se shromažďuje a pěchuje před šnekem a tím způsobuje ústup šneku dozadu, směrem od vstřikovací trysky. Po napěchování zadané dávky taveniny šnek zastaví. V další pracovní fázi šnek napěchovanou taveninu axiálním pohybem vpřed vstříkne přes

vstřikovací trysku a vtokový kanál do předem temperované tvarové dutiny vstřikovací formy.⁸

4.4.2 Používaná strojní zařízení

Vzorkování a výroba plastových produktů je zajištěna na moderních lisech značky Krauss-Maffei a Engel. Hmotnost plastových vstřikovacích dílů se pohybuje od několika gramů do cca 3 000 g.

Vstřikovací lisy – tvářecí stroj určený k výrobě plastových produktů vstřikovací technologií. Jejich úkolem je vstříknout homogenní plastovou taveninu do tvarové dutiny vstřikovací formy a tím touto taveninou vytěsnit prostor tvarové dutiny ve tvaru požadovaného výlisku. Tento pracovní úkol je vstřikovací lis schopen vykonávat opakovaně tj. cyklicky. Při takto opakujících se cyklech spočívá jeho pracovní využití zejména ve velkosériové výrobě. Počátek výroby vstřikovacích lisů je datován na konec 19. století. První stroje pracovaly na principu výtlačného pístu. V polovině 20. století byly postupně nahrazeny modernějšími typy, které pracovaly na základě vícefunkční šnekovací jednotky. Tyto se používají dodnes. Na obr. 4.5 je ukázka vstřikovacího lisu. Součástí vybavení lisovny jsou taky sušičky plastového materiálu v podobě granulí.⁸



Obr. 4.5 Vstřikovací lis

4.4.3 Termoplasty pro vstřikování:

Plastových materiálů se v současné době pohybuje na trhu několik tisíc druhů. Ne však každý z nich vyhovuje k průmyslovému zpracování vstřikovací technologií. Zde nachází uplatnění v technické praxi jen několik desítek druhů a typů termoplastů. Ze 70% celosvětového objemu produkce těchto materiálů se nejčastěji používají pouze tři druhy. Jsou to polyolefiny, polyvinylchlorid a styrenové hmoty. Celková nabídka se ale neustále navyšuje. Plastové materiály se v nepřetržitém rozvoji ubírají dvěma směry. První směr je soustředěn na vytváření zcela nových materiálů. Druhý směr preferuje modifikaci materiálů stávajících. Zpracování materiálů při výrobě je závislé na chování daného materiálu při teplotním zatížení. A naopak při výrobě zadaného plastového produktu záleží na použití konkrétního plastu a jeho chování při požadovaném rozsahu teplot a vlastností v tuhém stavu.⁸

Zpracovatelské materiály

Nejčastěji používané zpracovatelské plastové materiály ve firmě - PP, ABS, PA, POM, PBT, PC, PMMA, PE, PEI, PES, PS, PUR, TPE, a také materiály plněné až 50% skla nebo minerálními plnivými.

Základní kritéria vlastností plastových materiálů:

- 1) Projevy a chování materiálů při přechodu ze stavu tuhého do stavu taveniny.
- 2) Projevy samotné taveniny.
- 3) Projevy a chování materiálů při přechodu ze stavu taveniny do stavu tuhého.

Rozdělení plastů podle chování při teplotním zatížení

Termoplasty – polymerní materiál.

Při zahřívání přechází do stavu vysoce viskózních neneutronovských kapalin. Snadno se zpracovává a tváří různými technologiemi. Při ochlazení pod teplotu tání se opět vrací do předchozího tuhého stavu. Celý tento teplotní proces tuhnutí a tání lze neomezeně opakovat. Jeho chemická struktura se při tomto procesu nemění. K výrobnímu zpracování se nejčastěji používají polyamid (PA), polypropylen (PP), polyethylen (PE) aj.⁸

Reaktoplasty – polymerní materiál.

Při zahřívání přechází v první fázi do stavu plastického, ale tvářet lze jen omezenou dobu. Při opětovném zahřívání u nich vzniká chemická reakce tzv. vytvrzování prostorové zesíťované struktury. Proces tání a tuhnutí nelze opakovat a vytvrzené výlisky se nedají roztavit ani rozpustit. Při další fázi zahřívání materiál degraduje tzv. vzniká rozpad hmoty.

Ke zpracování se používají polyesterové hmoty, epoxidové pryskyřice, fenolformaldehydové hmoty aj.⁸

Elastomery, kaučuky a pryže – polymerní materiál.

Při zahřívání v první fázi přecházejí do plastického stavu, ale tvářet je lze pouze omezenou dobu. Při opětovném zahřívání u nich vzniká chemická reakce tzv. vulkanizace a prostorové zesíťování struktury. Elastomery na bázi termoplastů neprochází žádným chemickým strukturálním dějem při procesu tání a tuhnutí, a tudíž lze tento proces neomezeně opakovat.⁸

4.5 Měřicí a výstupní kontrola

4.5.1 3D Měřicí přístroj

Global Classic

Global Classic používán v naší firmě je souřadnicový víceúčelový 3D měřicí stroj používaný k přesnému měření a kontrole rozměrů různých komponentů. Jeho přesnost a víceúčelovost je využívána v mnoha průmyslových odvětvích např. ke kalibraci přípravků nebo ve výrobě k průběžnému porovnání a měření rozměrů prvního až posledního kusu. Global Classic je efektivní přístroj určen především k řešení kontroly rozměrové kvality různých produktů. Je vybaven spínacími dotekovými sondami ve standardní konfiguraci. Můžou být k dispozici dle volby i sondy skenovací. Pro zajištění přesného měření v širokém rozsahu teplot, zařízení využívá volitelnou strukturální teplotní kompenzaci CLIMA. Na obr. 4.6 znázorněn měřicí přístroj Global Classic. Rozsah měření v tab. 2.⁶



Obr. 4.6 Měřicí přístroj Global Classic⁶

Vlastnosti Global Classic a jeho výhody:

- výhodný poměr výkonu a ceny,
- celohliníkový ultratuhý rám,
- konfigurace volitelného skenování a snímání point-to-point (bod po bodu),
- optimální poměr hmotnosti a tuhosti zajišťuje patentovaná konstrukce trojúhelníkového průřezu TRICISION s vysokou stabilitou a vynikající přesností,
- vysoká tuhost a velký průřez pinoly v ose Z optimalizuje používání nástrojů svisle prodloužených,
- ke zlepšení měřicí přesnosti a opakovatelnosti maximálně přispívá konstrukce stolu skládající se z jednoho kusu a patentované rybinové vedení vyrobeny precizními postupy v granitu,
- vysoké rozlišení u měřítek,
- volitelná interaktivita se softwarem PC – DMIS a intuitivní ergonomické zařízení s rozhraním ikon Universal JogBox pro zdokonalení operací pracovních postupů,
- volitelná možnost teplotní strukturální kompenzace CLIMA,
- k pracovní oblasti z každé strany umožněn bezbariérový přístup,
- minimalizovaný půdorys k využití zařízení i v těsných prostorech. ⁶

Tab. 2 Rozsahy měření na Global Classic ⁶

Rozsahy měření [mm]		
X	Y	Z
500	500 - 700	500
700	700 - 1000	500 - 660
900	1200 - 1500 - 2000	800
Přesnost: $MPE_E = \text{od } 1,9 + 1/300 \mu\text{m}$		

5 Síťová analýza – CPM

V následujících částech diplomové práce se již budu věnovat pouze pracovnímu provozu lisovny. Zde představím základní pracovní činnosti. Pomocí CPM analýzy a vícekritériálních metod budu následně řešit dané téma.

Síťová analýza je metoda plánování projektů. Jde o vytvořený sled na sebe navazujících a závislých operací. Tím vzniká tzv. síťový graf, ve kterém jsou tyto navazující a závislé operace zobrazeny. Ve zobrazeném síťovém grafu, plyne čas zleva doprava. Síťový graf vždy začíná a končí jednou aktivitou. Mezi touto počáteční a konečnou aktivitou jsou zobrazeny etapy projektu, kde můžeme najít kritickou cestu.²

Metody Síťové analýzy – CPM, PERT, RAMPS, CPM/COST

Kritická cesta

Kritická cesta nám v síťovém grafu zobrazuje časově nejdelší možnou cestu aktivit od začínající aktivity po konečnou. Všechny činnosti na kritické cestě je důležité neustále pozorovat. Jakékoliv časové zpomalení aktivity na kritické cestě prodlužuje celý výrobní proces.²

Využití síťové analýzy:

- projektování složitých výrobních procesů,
- projektování distribučních cest výrobků,
- vyhledání a možné odstranění úzkých míst v pracovním procesu,
- naplánování dopravních sítí (pozemních, leteckých, námořních) atd.

5.1 Propočty časových hodnot

Pro každý uzel

NMT – nejdříve možný termín uzlu T_E

NPT – nejpozději přípustný (nevyhnutelný) termín uzlu T_L

T_s – autoritativně určený termín ukončení práce λ

i – výchozí uzel

j – navazující uzel



Obr. 5.1 Schéma dvou po sobě navazujících uzlů²

Pro každou činnost

NMZ – nejdříve možný začátek činnosti $t_i^{(0)}$

NPZ – nejpozději přípustný začátek činnosti $t_i^{(1)}$

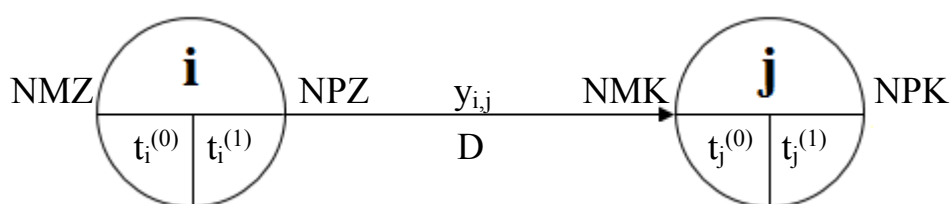
NMK – nejdříve možný konec činnosti $t_j^{(0)}$

NPK – nejpozději přípustný konec činnosti $t_j^{(1)}$

D – čas konání činnosti $y_{i,j}$

i – výchozí uzel

j – navazující uzel



Obr. 5.2 Schéma dvou po sobě navazujících uzlů²

Rezervy

Celková rezerva – je využitelný časový údaj, kterým lze oddálit začátek činnosti, nebo prodloužit stávající činnost vůči nejdříve možnému začátku bez narušení doby plánovaného ukončení projektu.

$$CR_{i,j} = t_j^{(1)} - t_i^{(0)} - y_{i,j} \quad (5.1)$$

Volná rezerva – jedná se o časovou hodnotu, která nezpůsobuje u žádné z následujících činností posun, nejdříve možných začátků. Nastává v situaci, kdy proudí do jednoho uzlu více aktivit, které mají rozdílné nejdříve možné ukončení.

$$VR_{i,j} = t_j^{(0)} - t_i^{(0)} - y_{i,j} \quad (5.2)$$

Závislá rezerva – nastává u činnosti, kdy dojde k maximálnímu posunutí všech navazujících začátků následných aktivit.

$$ZR_{i,j} = t_j^{(1)} - t_i^{(1)} - y_{i,j} \quad (5.3)$$

Nezávislá rezerva – časový údaj této rezervy je nezávislý vůči jakémukoliv využití všech časových rezerv předchozích i následných aktivit v celkovém projekčním procesu. Vzniká při min. dvou činnostech probíhajících od začátku v uzlu „i“ po konec v uzlu „j“. ²

$$NR_{i,j} = t_j^{(0)} - t_i^{(I)} - y_{i,j} \quad (5.4)$$

Vztah mezi rezervami

$$CR_{i,j} \geq VR_{i,j}, ZR_{i,j}, NR_{i,j} \geq 0$$

NR – může vyjít se zápornou hodnotou, v takovém případě zapisujeme 0.

5.2 Výrobní činnost

5.2.1 Popis pracovních činností v provozu lisovny

Celá tato výrobní operace od počátku až po přípravu hotového kvalitního výrobku určeného k expedici se skládá z mnoha pracovních činností.

Po vydání lisovací karty do provozu lisovny, na které je uvedeno vše o prototypovém výlisku (evidenční číslo vstřikovací formy, plastový materiál pro výrobu výlisku, váha výlisku, rozměry výlisku) začíná samotná výroba.

1) Technolog dle informací lisovací karty (ukázka již vyplněné lisovací karty obr. 5.20) začíná nastavovat na vstřikovacím lisu orientační program (teploty tavení materiálu na zónách teplotních těles vstřikovací jednotky, velikost dávky materiálu při nabírání do šnekovací komory, poddimenzovaný vstřikovací tlak a rychlost aj.) a předá ihned lisovací kartu manipulačním dělníkům (manipulační pracovník pro vstřikovací formy a manipulační pracovník pro plastový materiál).

Základní nastavované technologické parametry:

- teploty topných těles na zónách vstřikovací jednotky,
- vstřikovací tlak a rychlost,
- velikost a čas dotlaku,
- zdvih dávkování a protitlak dávkování,
- tlakovou mez a přepnutí na dotlak,
- pásmo přepnutí,
- dobu chlazení aj.

Čas konání činnosti 20 min. Úsek cesty v následném síťovém grafu: 1 → 4

2) Manipulační pracovník, který má na starosti manipulaci se vstřikovacími formami, odjíždí do skladu forem vysokozdvížným vozíkem a na základě lisovací karty vyhledá danou formu. Na obr. 5.3 a 5.4 je sklad vstřikovacích forem a vysokozdvížný vozík. Čas konání činnosti 10 min. Úsek cesty v následném síťovém grafu: 1 → 2



Obr. 5.3 a 5.4 Sklad vstřikovacích forem a manipulační vozík

3) Manipulační pracovník vyhledanou vstřikovací formu přeloží za pomoci jeřábu na samostatnou paletu a doveze k určenému vstřikovacímu lisu. Na obr. 5.5 a 5.6 je znázorněn vstřikovací lis a vstřikovací duralová forma. Čas konání činnosti 20 min. Úsek cesty v následném síťovém grafu: 2 → 4



Obr. 5.5 Vstřikovací lis a obr. 5.6 vstřikovací forma

4) Pracovník, který má za úkol dopravu, sušení a přísun plastového materiálu do vstřikovacího lisu, odjíždí do skladu materiálů vyhledat příslušný materiál. Sklad plastového materiálu a elektrický manipulační vozík na obr. 5.7 a 5.8. Čas konání činnosti 10 min. Úsek cesty v následném síťovém grafu: **1 → 3**



Obr. 5.7 Sklad materiálů a obr. 5.8 manipulační vozík

5) Po vyhledání příslušného plastového materiálu obr. 5.10 je granulát v určitém množství přeložen na zvláštní paletu a dovezen k vakuové sušičce materiálu obr. 5.9. Materiál bývá většinou pytlovaný (25 kg) ve tvaru granulí. Následuje naplnění a nastavení sušičky. Nastavuje se dle tabulkových hodnot teplota a čas sušení. Čas konání činnosti 20 min. Úsek cesty v následném síťovém grafu: **3 → 5**



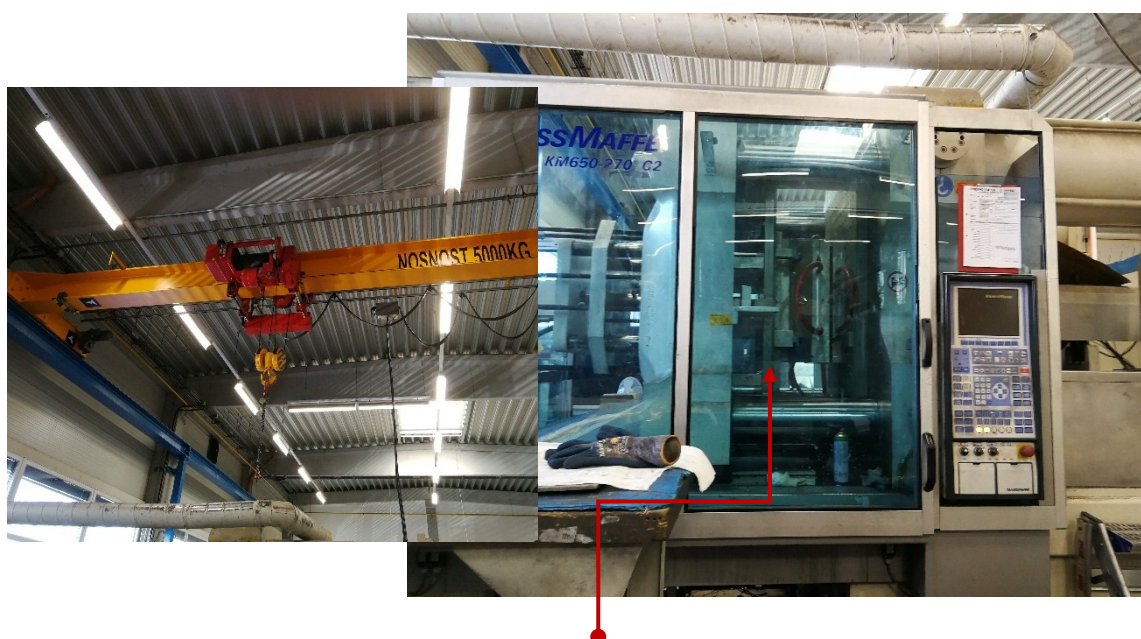
Obr. 5.9 Tří kanystrová vakuová sušička a obr. 5.10 pytlovaný granulát

6) Probíhá doba sušení, po které je vysušený granulát nasypán do násypky lisu. V tabulce 3 jsou uvedeny sušící parametry základních plastových materiálů. Čas konání činnosti 60 min. Úsek cesty v následném síťovém grafu: 5 → 6

Tab. 3 Sušící parametry v tabulce základních plastových materiálů

Materiál	Konečná vlhkost [%]	Čas vysušení [min]	Teplota sušení [°C]
ABS	0,10	40 - 50	80 - 85
PA	0,20 – 0,10	40 - 60	80 - 85
PBT	0,02	40 - 50	120
PC	0,02	40 - 50	120
PMMA	0,02 – 0,04	60	85
POM	0,20 – 0,10	50	80 - 110

7) Připravenou formu seřizovač lisu za pomoci jeřábu nahazuje a připevňuje do uzavírací jednotky vstřikovacího lisu obr. 5.11 a obr 5.12. Následně formu seřídí (nastavuje nulové body formy, délku otevírací a zavírací dráhy formy, délku dráhy vyhazovacích kolíků, uzavírací sílu formy, přitlačnou sílu vstřikovací jednotky aj.) a zapojí temperační systém určený k vyhřívání formy na požadovanou teplotu dle druhu materiálu. Čas konání činnosti 40 min. Úsek cesty v následném síťovém grafu: 4 → 6



Obr. 5.11 Mostový jeřáb a obr. 5.12 vstřikovací forma připevněna ve vstřikovacím lise

8) Po seřízení formy a nachystání plastového granulátu začíná technolog s lisováním. Orientační program není přesný a bývá nastaven tak, aby výstřik při prvním pokusu nebyl celý. Tím se zabrání případnému přeplnění tvarové dutiny a vzniku mechanického poškození formy. Technolog na základě výsledku prvního (*druhého, třetího,...*) vstřiku upravuje technologické parametry tak, aby dosáhl kompletního tvaru a velikosti výstřiku. Na obr. 5.13 je ukázka programovací jednotky vstřikovacího lisu Krauss Maffei. Čas konání činnosti 40 min. Úsek cesty v následném síťovém grafu: 6 → 7



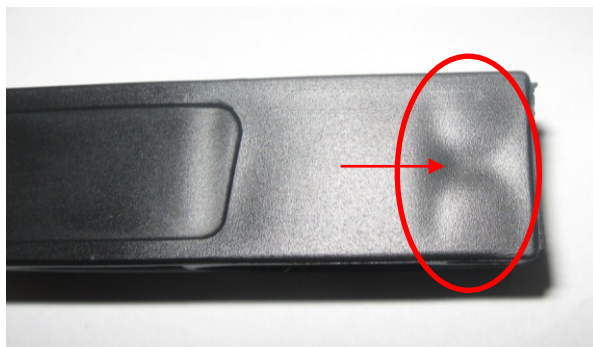
Obr. 5.13 Programovací jednotka lisu

9) Takto kompletní plastový díl se dál předá pracovníku z měřicí kontroly, který si ho připraví na celkové kontrolní měření na 3D víceúčelovém souřadnicovém měřicím přístroji Global Classic (upnutí výstřiku na měřicí zařízení pomocí přípravků) obr. 5.14. Čas konání činnosti 20 min. Úsek cesty v následném síťovém grafu: 7 → 8



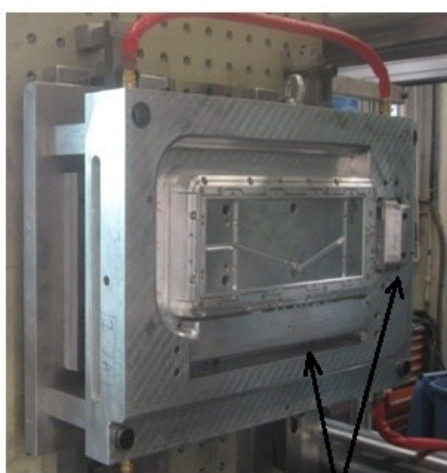
Obr. 5.14 Měřicí zařízení Global Classic

10) Probíhá celkové měření dílu na 3D měřícím zařízení. Místa, která nevyhovují a jsou mimo toleranci se přesně zaznamenají pro následující opravu (např. propady a různé nežádoucí zakřivení vzniklé smrštěním chladnoucího dílu, nerovnoměrný povrch vytvořen špatným tečením plastové taveniny aj). Na obr. 5.15. je ukázka tzv. „propadu“ materiálů, vzniklého působením jeho smrštěním (smrštění – stáhnutí materiálu do sebe). Čas konání činnosti 50 min. Úsek cesty v následném síťovém grafu: 8 → 9

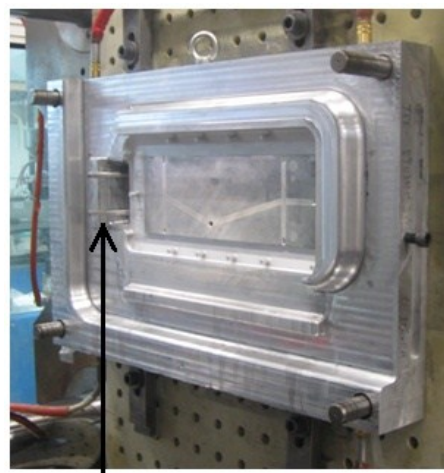


Obr. 5.15 Ukázka „propadu“ vzniklého působením smrštění

11) Mezitím, než proběhne měření, seřizovač lisu provádí dodatečnou celkovou kontrolu formy. Zaměří se hlavně na důkladnost promazání pohyblivých částí formy (vyhazovací kolíky, různé pohyblivé vozíky používané k odformování výstřiku, hlavní a pomocné vodící kolíky aj.). Dále provádí vizuální kontrolu celé tvarové dutiny, především pak hran tvarové dutiny a komplikovaných míst tvarově velmi členitých oblastí. Na obr. 5.16 a 5.17 jsou upřesněny místa odformovacích vozíků a vodících kolíků pro vozík. Čas konání činnosti 30 min. Úsek cesty v následném síťovém grafu: 7 → 9



odformovací vozíky



vodící kolíky vozíku

Obr. 5.16 a 5.17 Odformovací vozíky a vodící kolíky vozíku

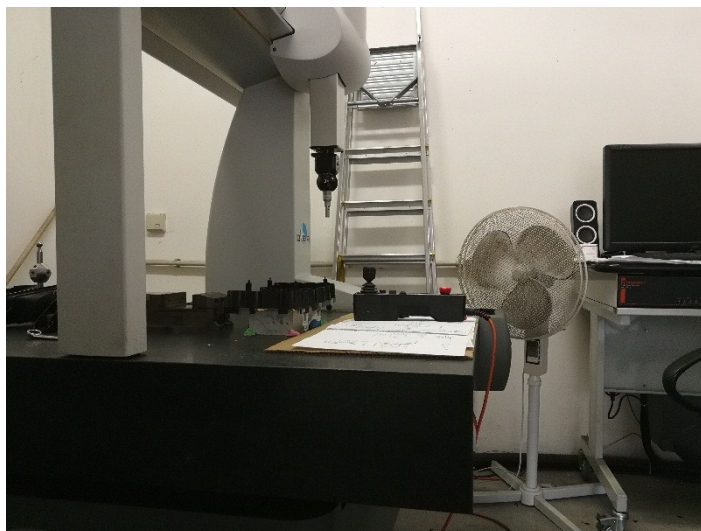
12) Po konzultaci technologa s pracovníkem měřicí kontroly jsou objasněny vzniklé chyby na plastovém výrobku. Technolog začíná upravovat na vstřikovacím lise technologické parametry programu výrobního cyklu tak, aby eliminoval všechny nežádoucí projevy vzniklé na plastovém produktu. Čas konání činnosti 20 min. Úsek cesty v následném síťovém grafu: 9 → 10

13) Probíhá druhá fáze lisování, kdy ještě při následných výrobních cyklech dodatečným jemným doladěním programu docílí technolog zadané kvality lisovaného produktu obr. 5.18. Čas konání činnosti 20 min. Úsek cesty v následném síťovém grafu: 10 → 11



Obr. 5.18 Ukázka programově sladěného dílu

14) Vyrobený díl putuje opět k pracovníku měřicí kontroly, který si ho znovu připraví k měření na Měřicí přístroj Global Classic (upnutí výstřiku na měřicí zařízení pomocí přípravků). Na obr 5.19 je znázorněn upnutý plastový díl na měřicím přístroji. Čas konání činnosti 20 min. Úsek cesty v následném síťovém grafu: 11 → 12



Obr. 5.19 upnutý díl na měřicím zařízení

15) Probíhá opětovné měření s tím rozdílem, že už se neproměřuje celý díl, ale jen předešlá chybná místa. Obr. 5.15 a 5.18 poukazují na předešlá problémová nežádoucí místa výlisku a následně na programově kvalitně sladěném dílu. Čas konání činnosti 30 min. Úsek cesty v následném síťovém grafu: 12 → 13

16) Po schválení rozměrů a tvaru výrobku z měřicí kontroly, technolog ukládá a zálohuje data programu. Dále pak vypisuje lisovací kartu pro vedoucího výroby a pro zákazníka. Znázorněná programově vyplněná lisovací karta na obr. 5.20. Čas konání činnosti 10 min. Úsek cesty v následném síťovém grafu: 13 → 14

LISOVACÍ KARTA

Typ lisu:
80T 120T 200T 300T 500T 650T

Název výlisku:
Požadovaný počet:

Materiál:
Číslo zakázky:
Číslo materiálu:
Umístění:

Barva:
Procento barvy:
Číslo barvy:

Lisování:

Forma č.
Zákazník
Vzorek/výlisk:
Číslo lisování:
Termín dodání:
Měřit výlisky:

Ořez výlisků:

Balení:

Váha výlisku
Expedováno ks
Použité kartóny

Těsnění obslužných otvorů 51FA
231 010 (do sady 6 ks)

BERGAFLEX BFI 45A = 338
TRANSPARENT

Spotřeba: 3,5kg

Malý x velký regál VELKÝ

Regál číslo: SH

Police/Paleta 40

Datum	Výliskováno	Technolog	Poznámka
10.4.2018	27 ks	Zdeněk Minář	

Sušení materiálu - čas: 2x25 min

Teplota: °C

Teplota trysky: 240 °C

Teplota I. Pásmo: 220 °C

Teplota II. Pásmo: 190 °C

Teplota III. Pásmo: 180 °C

Teplota IV. Pásmo: °C

Teplota V. Pásmo: °C

Teplota VI. Pásmo: °C

Tlaková mez: 300 bar

Vstřikovací rychlost: 35,3 cm³/s

Tlak přepnutí: 270 bar

Pásmo přepnutí: 10 cm³/s

Dotlak - Doba: 15 s

Dotlak - Tlak: 50 bar

Dávkování - protitlak: 35 bar

Dávkování: 98 cm³

Intruze: 4 s

Doba chlazení: 50 s

Teplota formy- strana vtoku: 35 °C

Teplota formy- strana vyhazovací: 35 °C

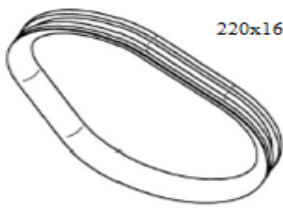
Horký vtok

1	2	3	4
240	240	240	240 °C

NESMÍ BÝT ČERNÉ TEČKY, NESMÍ BÝT ŠPINAVÉ.

Těsnění obslužných otvorů 1FA 231 010

VERZE : 01



220x160x21 mm

Z

Číslo lisovací karty: L182667

Obr. 5.20 Vyplněná lisovací karta

17) Pro takto schválený výrobek si přijde pracovníce z úseku – Dokončovací práce. Při předávání výrobku technolog pracovníci vysvětlí a ukáže místa ke konečnému opracování. Jedná se především o ořezání různých přetoků a otřepů, zabroušení stop po vtokovém ústí aj. Obr. 5.21 poukazuje na problematická místa na obvodové hraně v dělicí rovině formy viz. kapitola 4.3 obr. 4.4. Čas konání činnosti 10 min. Úsek cesty v následném síťovém grafu: 14 → 15



Obr. 5.21 Obvodová hrana, na které jsou nejčastěji otřepy, přetoky a stopy po vtokovém ústí

18) Pracovníce dokončovacích činností příslušným ořezáním, zabroušením nebo jinými koncovými úpravami zbaví výlisek všech nechtěných částí (přetoky, otřepy, vtoky po vtokovém ústí aj.) a tím připraví výrobek k zabalení. Ukázka používaných nástrojů na obr. 5.22. Čas konání činnosti 10 min. Úsek cesty v následném síťovém grafu: 15 → 16



Obr. 5.22 Používané nástroje při dokončovací činnosti

19) Další pracovnice určená k balení výrobku, zabalí výrobek do balící jednotky. Na balící jednotku nalepí popisový štítek (název výrobku, datum výroby) a přiloží dodací list pro expedici. Příklad klopových krabic s patřičnými doklady na obr. 5.23. Čas konání činnosti 10 min. Úsek cesty v následném síťovém grafu: **16 → 17**



Obr. 5.23 Klopová krabice s popisovým štítkem a dodacím listem

20) Poslední činností je odvoz balící jednotky zodpovědným pracovníkem na místo určené k expedici. Expediční místo pro odvoz balících jednotek na obr. 5.24. Čas konání činnosti 10 min. Úsek cesty v následném síťovém grafu: **17 → 18**



Obr. 5.24 Expediční místo

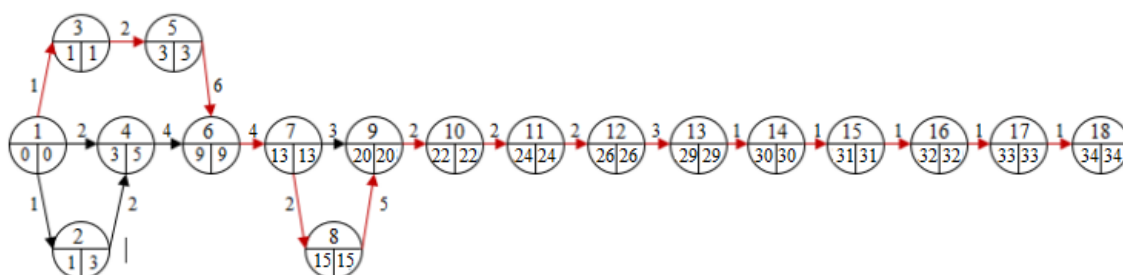
5.3 Síťová analýza – metoda kritické cesty

5.3.1 Síťový graf

Abych dosáhl větší přehlednosti v síťovém grafu, převedl jsem poměrově čas konání činnosti D na jednociferné číslo. Na obr. 5.25 je schéma síťového grafu s červeně vyznačenou kritickou cestou.

- 1 = 10 min
- 2 = 20 min
- 3 = 30 min
- 4 = 40 min
- 5 = 50 min
- 6 = 60 min

Čas konání činnosti D se nachází vždy na směrové spojnici sousedních uzlů. Viz. podkapitola 5.1 – propočty časových hodnot.



Obr. 5.25 Síťový graf s červeně vyznačenou kritickou cestou

5.3.2 Cesty v grafu výčtem uzlů

Sečtením všech časových údajů v každé cestě v síťovém grafu zvlášť, naleznou časově nejdelší, a to je hledaná kritická cesta.²

KRITICKÁ CESTA $KC = \sum_1^n y_{i,y} \rightarrow \max.$

1) $1 \rightarrow 3 \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow 9 \rightarrow 10 \rightarrow 11 \rightarrow 12 \rightarrow 13 \rightarrow 14 \rightarrow 15 \rightarrow 16 \rightarrow 17 \rightarrow 18$
 $1 + 2 + 6 + 4 + 3 + 2 + 2 + 2 + 3 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 = 30$

2) $1 \rightarrow 3 \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow 8 \rightarrow 9 \rightarrow 10 \rightarrow 11 \rightarrow 12 \rightarrow 13 \rightarrow 14 \rightarrow 15 \rightarrow 16 \rightarrow 17 \rightarrow 18$
 $1 + 2 + 6 + 4 + 2 + 5 + 2 + 2 + 2 + 3 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 = 34 = \text{Kritická cesta}$

3) $1 \rightarrow 4 \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow 9 \rightarrow 10 \rightarrow 11 \rightarrow 12 \rightarrow 13 \rightarrow 14 \rightarrow 15 \rightarrow 16 \rightarrow 17 \rightarrow 18$
 $2 + 4 + 4 + 3 + 2 + 2 + 2 + 3 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 = 27$

4) $1 \rightarrow 2 \rightarrow 4 \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow 9 \rightarrow 10 \rightarrow 11 \rightarrow 12 \rightarrow 13 \rightarrow 14 \rightarrow 15 \rightarrow 16 \rightarrow 17 \rightarrow 18$
 $1 + 2 + 4 + 4 + 3 + 2 + 2 + 2 + 3 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 = 28$

5) $1 \rightarrow 2 \rightarrow 4 \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow 8 \rightarrow 9 \rightarrow 10 \rightarrow 11 \rightarrow 12 \rightarrow 13 \rightarrow 14 \rightarrow 15 \rightarrow 16 \rightarrow 17 \rightarrow 18$
 $1 + 2 + 4 + 4 + 2 + 5 + 2 + 2 + 2 + 3 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 = 32$

6) $1 \rightarrow 4 \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow 8 \rightarrow 9 \rightarrow 10 \rightarrow 11 \rightarrow 12 \rightarrow 13 \rightarrow 14 \rightarrow 15 \rightarrow 16 \rightarrow 17 \rightarrow 18$
 $2 + 4 + 4 + 2 + 5 + 2 + 2 + 2 + 3 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 = 31$

5.3.3 Tabulkový propočet všech časových rezerv

Tabulkový propočet dle početních vztahů v podkapitole 5.1 – (5.1), (5.2), (5.3), (5.4).

Tab. 4 Propočet časových rezerv

i j	CR	VR	ZR	NR
1 → 2	2	0	2	0
1 → 3	0	0	0	0
1 → 4	3	1	3	1
2 → 4	2	0	0	0
3 → 5	0	0	0	0
4 → 6	2	2	0	0
5 → 6	0	0	0	0
6 → 7	0	0	0	0
7 → 8	0	0	0	0
7 → 9	4	4	4	4
8 → 9	0	0	0	0
9 → 10	0	0	0	0
10 → 11	0	0	0	0
11 → 12	0	0	0	0
12 → 13	0	0	0	0
13 → 14	0	0	0	0
14 → 15	0	0	0	0
15 → 16	0	0	0	0
16 → 17	0	0	0	0
17 → 18	0	0	0	0

Incidenční matice

Propočty incidenční matice znázorněné v tab. 5.

Tab. 5 *Propočty časových rezerv v incidenční matici*

T _E		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
0	1		1	1	2														
1	2				2														
1	3					2													
3	4						4												
3	5						6												
9	6							4											
13	7								2	3									
15	8									5									
20	9										2								
22	10											2							
24	11												2						
26	12													3					
29	13														1				
30	14															1			
31	15																1		
32	16																	1	
33	17																		1
34	18																		
T _L	0	3	1	5	3	9	13	15	20	22	24	26	29	30	31	32	33	34	
CR	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
KC	1		3		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	

5.3.4 Modifikace kritické cesty

Kritická cesta je nejvíce ovlivněna časově nejdelší činností, a to je **doba sušení** plastového materiálu v sušicím zařízení **5 → 6**. U této časově nejdelší operace jde přitom o samočinnou pracovní činnost sušicího zařízení a není k němu třeba žádné lidské pracovní síly. V této chvíli je důležitá organizační schopnost vedoucího výroby. Ten je schopen kritickou cestu v tomto bodě významně ovlivnit. Tím že, pouze v některých případech (tj. plně nevyužitá kapacita kanystrů v sušce u aktuálně sušeného materiálu), je možnost zajistit sušení materiálu s dostatečným předstihem. Následkem toho se stávající kritická cesta může příznivě změnit na cestu nekritickou. Celý výrobní proces výroby plastového prototypového dílu trval v našem případě 34 jednotek tzn. $34 = 340$ min. Tento plastový díl stihneme vyrobit a připravit k expedici za 340 min.

5.4 Navrhovaná výměna sušicího zařízení

Sušicí proces probíhá v podtlakové sušičce plastového materiálu, která už je poměrně staršího roku výroby. Sušicí zařízení je situováno k nejvýkonnějšímu vstřikovacímu lisu (Kraus Maffei) v provozu lisovny s objemem vstřikovací komory 2290 cm^3 . Jednou z možností, jak předejít případné poruše opotřebením a tím zpomalit výrobní proces, je vhodný nákup a výměna stávajícího sušicího zařízení za zařízení modernější. V praktické části této práce pomocí vícekritériální analýzy vyberu modernější typ i model sušicího zařízení vhodný pro tuto výrobní činnost. Obr. 5.26 a 5.27 znázorňují stávající stav sušicího zařízení.

Stávající stav: Podtlaková sušička Maguire LPD – 12H



Obr. 5.26 a 5.27 Vakuová sušička plastových materiálů LPD – 12H a její výrobní štítek

6 Sušení materiálů

Plastové materiály je nutné před každým výrobním procesem zbavit vlhkosti, která má negativní vliv na mechanické vlastnosti a povrchovou kvalitu plastového výlisku. Plastové výrobní materiály, nejčastěji v podobě granulí, dokáží absorbovat vlhkost z okolního prostředí. Jsou tzv. hyroskopické a fungují jako „houby“. Vázání vody k materiálu se projevuje dvěma způsoby. Vlhkost může být povrchová, kde vodu k materiálu váže přilnavost nebo zastává charakter v celém objemu hmoty, kde ji k danému plastovému materiálu váží kapilární síly. K vysoušení materiálu se používají sušičky plastových materiálů.³ V tab. 6 jsou uvedeny příklady nenavlhavých a navlhavých plastových materiálů a na obr. 6.1 je ukázka několika druhů plastových materiálů v podobě granulí.

Tab. 6 příklady navlhavých a nenavlhavých skupin plastů³

Skupina plastů	c_r	Příklady
Nenavlhavé	< 0,1 %	PP, PE, PS
Málo navlhavé	0,1 ÷ 0,5 %	ABS, SAN, PC,
Středně navlhavé	0,5 ÷ 2,0 %	POM, PMMA, PVC, PA11
Silně navlhavé	> 2 %	PA6, PA66, PUR

c_r – rovnovážná vlhkost, která závisí na relativní vlhkosti a teplotě vzduchu.



Obr. 6.1 Plastové materiály v podobě granulí

6.1. Projevy vlhkosti v materiálu

Vizuální projevy nežádoucí vlhkosti obsažené v plastové tavenině se na vyrobených produktech vytváří v podobě vlhkostních šmírů a šmouh. Kolik vlhkosti polymer absorbuje z atmosférického vzduchu, závisí na jeho teplotě a relativní vlhkosti ovzduší. Polymer dokáže absorbovat vlhkost z atmosférického vzduchu až do té doby, kdy nastane rovnovážný stav s tímto okolním prostředím. Doba vzniku rovnovážného stavu s okolním ovzduším se u různých typů polymeru liší. Celý proces absorbování vlhkostí může mít trvání několika minut, ale i dní. Jedná se o proces vratný. Navlhání a sušení materiálů se může neomezeně opakovat. Při zvyšování teploty materiálu se zrychlí pohyb jeho molekul a tím dochází ke snížení vzájemné přitažlivosti molekul vody s polymerním řetězcem. Následkem toho nastává uvolnění vodních molekul od těchto strukturálních polymerních řetězců. Plastový materiál se musí sušit určitý čas a na zadanou teplotu. Překročení těchto veličin negativně ovlivňuje vlastnosti daného materiálu. Může způsobit jak mechanickou, tak chemickou degradaci. Základní parametry při procesu sušení tvoří rosný bod a relativní vlhkost vzduchu.³

Relativní vlhkost vzduchu – procentuální hodnota množství vlhkosti v ovzduší vztahující se ke vzduchu plně nasyceném při určité teplotě a tlaku.

Rosný bod – uvádí maximální obsah vlhkosti ve vzduchu při určité teplotě.³

Na obr. 6.2 jsou zachyceny viditelné projevy vlhkého materiálu na konečném plastovém výstřiku (vlhkostní šmíry a šmouhy).



Obr. 6.2 Viditelné stopy vlhkosti na výstřiku tzv. stříbření

6.1 Měřicí přístroj pro měření obsahu vlhkosti

Halogenový analyzátor Sartorius

Halogenový analyzátor je přístroj ke stanovení a měření obsahu vlhkosti v plastových materiálech. Tato technologie měření patří mezi nejefektivnější a nejnovější. Zařízení pracuje na principu termogravimetrického.³

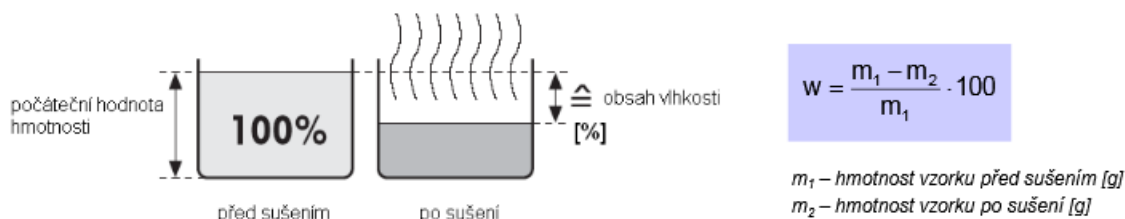
Postup měření:

Začátek měření spočívá ve zvážení plastového granulátu, viz obr. 6.4, na samotném analyzátoru (1-10g). Poté je plastový granulát rychle zahříván vestavěným topným halogenovým modulem (topná spirála). U takto rychle zahřátého vzorku materiálu dochází k odpařování vlhkosti. Analyzační zařízení během tohoto procesu nepřetržitě snímá a stanovuje průběžnou hmotnost vzorku. Vzniklý úbytek hmotnosti je aktuálně postupně zobrazován a při ukončení sušícího procesu je zobrazena finální hodnota množství vlhkosti. Na obr. 6.3 je schéma a výpočet pro měření vlhkosti v plastovém materiálu a na obr. 6.4 je zobrazen halogenový analyzátor Sartorius.³

Vztah pro vyjádření obsahu vlhkosti

Hmotnostními procenty „w“:

- uvádějí počet dílů vody ve sto dílech vlhkého plastového materiálu.



Obr. 6.3 Schématické znázornění a výpočetní vztah pro měření vlhkosti³



Obr. 6.4 Halogenový analyzátor Sartorius³

6.3 Typy sušiček

Využívané metody k sušení plastových hmot patří tyto technologie:

- sušení horkým vzduchem,
- sušení suchým vzduchem,
- sušení tlakovým vzduchem,
- sušení ve vakuu.

Horkovzdušné sušičky plastového materiálu

U tohoto procesu sušení se především využívá zvýšené absorpce vlhkosti v zahřátém vzduchu. Horkovzdušné sušičky jsou hlavně určeny k ohřevu materiálu anebo k likvidaci povrchové vlhkosti u materiálů nehygroskopických, které nemají vlhkost vázanou kapilárními silami v celém objemu. Touto sušicí technologií lze sušit i materiály hygroskopické, ale to může znamenat problém, jestliže je vyšší relativní vlhkost vzduchu. Celý systém je z části uzavřený nebo zcela otevřený. Do vnějšího okolí je pak vyfukován vzniklý vlhký vzduch. Na obr. 6.5 je znázorněno horkovzdušné sušící silo SHD-U.¹⁶



Obr. 6.5 Horkovzdušné sušící silo SHD-U¹⁶

Kompaktní sušičky (sušení suchým vzduchem)

Kompaktní sušičky jsou standardní dvoudílné sestavy, které se využívají k sušení hygrokopických materiálů. Skládají se z odvlhčovacího rotorového agregátu a sušícího sila v obvodu suchého vzduchu v uzavřeném systému. Otáčející se rotor tvořen z molekulového síta jako absorbéru vlhkosti ze vzduchu nebo z kompaktního spékaného silikagelu zajišťuje sušení vzduchu. Rotor je v sušící zóně nasycen vodou, která je pak uvolněna z rotoru v regenerační zóně. Vzduch, který je vysušen na hodnotu rosného bodu – 40 °C proudí přes sušící silo a odebírá vlhkost z plastového materiálu. Obr. 6.6 znázorňuje kompaktní sušičku.¹⁶



Obr. 6.6 Kompaktní sušička SCD - 600U/400H - LC – D¹⁶

Tlakovzdušné sušičky

Jako sušící médium, využívají tyto sušičky tlakový vysušený vzduch, který je vysušen na hodnotu tlakového rosného bodu + 3 °C. Expanze stlačeného vzduchu změní stávající tlak na tlak přibližně atmosférický, a to má za následek dostatečný pokles hodnoty rosného bodu. Při expanzi je pak k dispozici sušící vzduch, který nabývá hodnotu rosného bodu - 23 °C. Tato hodnota je dostatečná pro vysušení většiny navlhavých plastových materiálů. K tomuto vysoušecímu procesu je třeba mít centrální rozvod suchého vzduchu. Obr. 6.7 představuje tlakovzdušnou sušičku A-SCAD.¹⁶



Obr. 6.7 Tlakovzdušná sušička A-SCAD¹⁶

Podtlakové sušičky

Podtlakové sušení plastových materiálů je oproti sušení v konvenčních sušičkách mnohokrát rychlejší. Konvenční sušičky granule zahřívají a proudem suchého vzduchu vlhkost, která se dostala na povrch, odstraňují. Podtlaková sušička vlivem podtlaku molekuly vody z patřičně zahřátého materiálu přímo vysává. Podtlak způsobuje snížení bodu varu vody. Při normálním atmosférickém tlaku, který je 101 325 Pa má bod varu hodnotu 100 °C. Při sníženém tlaku na 84 659,47 Pa dosahuje hodnota bodu varu pouze 56 °C. Sušička využívající podtlak dokáže vygenerovat vakuum 737 mm rtuťového sloupce. Obr. 6.8 zobrazuje gravitační vakuovou sušičku VBD od americké firmy Maguire.¹⁶



Obr. 6.8 Gravitační vakuová sušička VBD¹⁶

7 Vícekriteriální rozhodování

Rozhodování je proces, při kterém vzniká možnost porovnání a výběru jedné nebo více variant z daných reálných možností. Zpravidla se rozhodování provádí tak, aby byla vybrána varianta nejvhodnější. Rozhodování může být individuální, kde provádí výběr jedinec anebo je kolektivní, kde rozhoduje skupina osob. Hlavní cíl rozhodování spočívá ve výběru takových variant, které dokáží zajistit požadovaný stav. Jednotlivé varianty jsou posuzovány z hlediska kritérií, zdali jsou vhodné nebo nevhodné. Na základě těchto vlastností dělíme kritéria na dva typy:

- **výnos** – čím vyšší hodnota kritéria, tím pro nás výhodnější (např. zisk aj.),
- **náklad** – čím nižší hodnota kritéria, tím pro nás výhodnější (např. ztráty aj.).

Variety rozhodování mohou mít různý počet kritérií. Jedná-li se o jedno kritérium, pak se rozhodování nazývá jednokriteriální. Pokud je kritérií větší počet, jedná se o vícekriteriální rozhodování. Každé kritérium má svůj význam, důležitost a sílu. Míru těchto vlastností kritérií pak určuje koeficient významnosti, který se dá zjistit různými početními metodami. V mém následujícím případě, kdy budu vyhledávat nejvhodnější typ a následně nejvhodnější model zvoleného typu sušiček plastových materiálů, využiji metodu pořadí a metodu porovnání v trojúhelníku páru.¹

7.1 Výběr vhodného typu sušicího zařízení

Pomocí využití **vícekriteriálního rozhodování** určím a vyberu nejvhodnější typ sušicího zařízení (kompaktní sušičky, horkovzdušné sušičky a podtlakové sušičky) pro výrobní proces. Výběr provedu porovnáváním základních veličin, které se vztahují na všechny typy sušících zařízení. Prototypová výroba spočívá v produkci malého počtu vylisků, proto budu uvažovat u všech typů sušících zařízení o maximálním objemu sušící jednotky do 60 litrů. U konvenčních typů sušiček, (tj. horkovzdušné sušičky a kompaktní sušičky využívající suchý vzduch) se jedná o celkový objemový prostor využitelný k sušicímu procesu. U podtlakových typů sušiček se jedná o využitelný objemový prostor vakuové komory. Po této volbě pak následně použiji další vícekriteriální metody při výběru nejefektivnějšího modelu daného typu.¹

7.2 Metoda pořadí

Jedná se o metodu stanovení hodnoty koeficientu významnosti dílčích kritérií s následujícím postupem:

- 1) Výběr kritérií, které budou hodnoceny.
- 2) Výběr hodnotitelů (expertů), kteří jednotlivě posoudí, ocení daná kritéria a určí jejich důležitost známkou v intervalu $\langle 1,10 \rangle$. Čím větší má kritérium hodnotu, důležitost, tím větší získává číselnou známku. Nejvýznamnější kritérium má intervalovou známku 10. Číselná známka experta nemusí být celé číslo a může se i u více kritérií opakovat.
- 3) Celkové zhodnocení pořadí kritérií od všech expertů se zapíše do tabulky. Tab. 7.
- 4) Na závěr se provede konečný propočet dle uvedených početních vztahů. Tab. 8 a tab. 9.¹

Výběr kritérií:

Kritéria, podle kterých dojde k výběru typu sušícího zařízení jsou následující:

Cena – zde jsem určil cenové rozpětí 100 000 – 500 000 Kč.

Objem sušící jednotky – jedná se o výrobu prototypovou, postačující objem jednotky volím od 20 l do 60 l.

Provozní teplota – pro sušení používaných výrobních materiálu požadují provozní teplotu min. do 150 °C.

Doba sušícího cyklu – ve výrobním procesu znamená úspora času peníze, proto je důležité, aby celková doba cyklu byla co nejkratší.

Spotřeba energie (vzduch, elektřina) – udává hospodárnost zařízení, zde preferuji co nejnižší spotřebu.

Tab. 7 Číselné oznámkování jednotlivých kritérií jednotlivými experty

Experti	Kritéria					β_j
	Cena	Sušící objem	Provozní teplota	Doba cyklu	Spotřeba energie	
Vedoucí výroby	8	4	5	10	7	34
Technolog	6	4	7	10	3	30
Manažer nákupu	5	5	6	10	2	28
Obsluha sušičky	5	6	7	9	3	30
Lisař	6	5	8	10	2	31

Výpočetní vztahy:**Důležitost j-tého kritéria u k-tého experta je dán vzorcem:**

$$p_{kj} = \frac{\beta_{kj}}{\beta_j} \quad (7.1)$$

$$\beta_j = \sum_{k=1}^m \beta_{kj} \quad (7.2)$$

p...počet expertů*m*...počet kritérií*p_{kj}*...číselná známka přiřazena k-tým expertem j-tému kritériu**Koeficient významnosti j-tého kritéria se vypočítá:**

$$B_j = \sum_{k=1}^m p_{kj} \quad (7.3)$$

Tab. 8 Dílčí váhy

Experti	Kritéria				
	Cena	Sušící jednotka	Provozní teplota	Doba cyklu	Spotřeba energie
Vedoucí výroby	p11	p12	p13	p14	p15
Technolog	p21	p22	p23	p24	p25
Manažer nákupu	p31	p32	p33	p34	p35
Obsluha sušičky	p41	p42	p43	p44	p45
Lisař	p51	p52	p53	p54	p55

V tab. 9 je propočet dle početního vztahu – (7.1) a zároveň výpočet koeficientu významnosti j-tého kritéria dle vztahu – (7.3).

Tab. 9 Provedené výpočty významností kritérií

Experti	Kritéria				
	Cena	Sušící jednotka	Provozní teplota	Doba cyklu	Spotřeba energie
Vedoucí výroby	$8/34 = 0,235$	$4/34 = 0,118$	$5/34 = 0,147$	$10/34 = 0,294$	$7/34 = 0,206$
Technolog	$6/30 = 0,2$	$4/30 = 0,133$	$7/30 = 0,233$	$10/30 = 0,333$	$3/30 = 0,1$
Manažer nákupu	$5/28 = 0,179$	$5/28 = 0,179$	$6/28 = 0,214$	$10/28 = 0,357$	$2/28 = 0,071$
Obsluha sušičky	$5/30 = 0,167$	$6/30 = 0,2$	$7/30 = 0,233$	$9/30 = 0,3$	$3/30 = 0,1$
Lisař	$6/31 = 0,194$	$5/31 = 0,161$	$8/31 = 0,258$	$10/31 = 0,323$	$2/31 = 0,065$
B_j	0,975	0,791	1,085	1,607	0,542

$$B_1 = 0,235 + 0,2 + 0,179 + 0,167 + 0,194 = \mathbf{0,975 = 19,5\%} \quad (7.3)$$

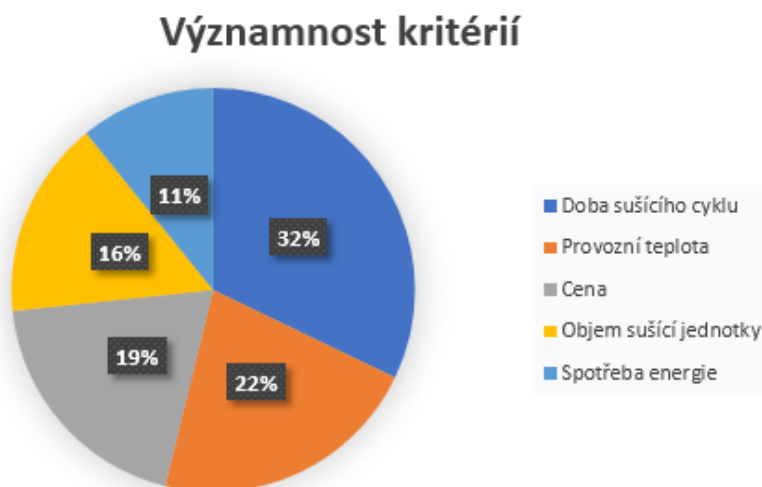
$$B_2 = 0,118 + 0,133 + 0,179 + 0,2 + 0,161 = \mathbf{0,791 = 15,82\%}$$

$$B_3 = 0,147 + 0,233 + 0,214 + 0,233 + 0,258 = \mathbf{1,085 = 21,7\%}$$

$$B_4 = 0,294 + 0,333 + 0,357 + 0,3 + 0,323 = \mathbf{1,607 = 32,14\%}$$

$$B_5 = 0,206 + 0,1 + 0,071 + 0,1 + 0,065 = \mathbf{0,542 = 10,84\%}$$

Procentuální vyjádření v grafické podobě:



Obr. 7.1 znázorňující procentuální významnost kritérií

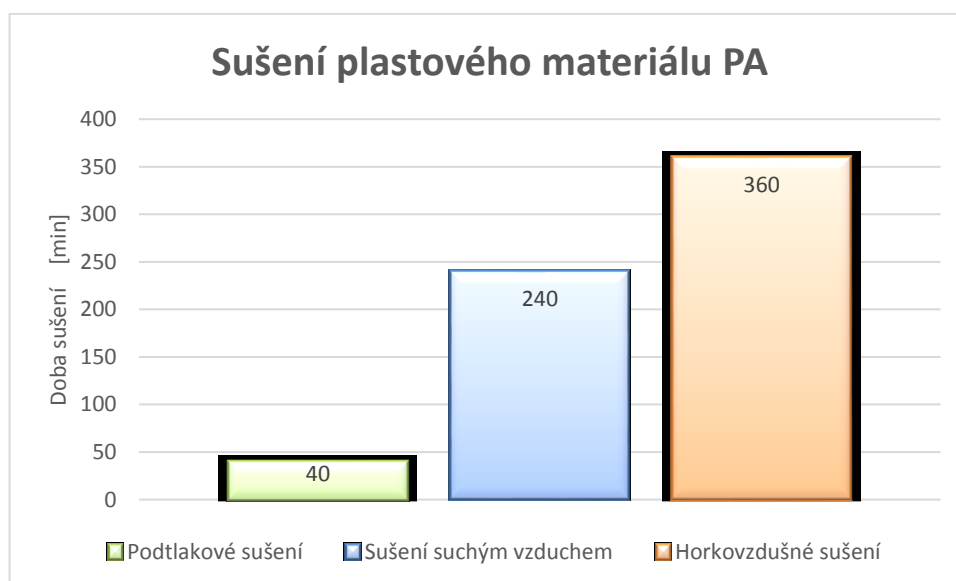
Dle propočtů je jednoznačně nejvýznamnější kritérium – **doba sušícího cyklu**. V následující kapitole porovnám vítězné kritérium u dvou zcela rozličných metod vysoušení. Porovnávat budu dobu sušícího cyklu u podtlakových (vakuových) sušiček a dobu sušícího cyklu u konvenčních sušiček (tj. horkovzdušné sušičky a kompaktní sušičky využívající suchý vzduch). V následujících tabulkách jsou uvedeny časy sušících cyklů u základních polymerů používaných ve výrobě plastových výlisků. Hned na první pohled je zřejmý značný časový rozdíl těchto dvou základních metod vysoušení. Tab. 10 představuje časové parametry u metody podtlakového vysoušení plastového materiálu a následná tabulka 11 uvádí časové parametry u konvenčních metod vysoušení plastového materiálu. Obr. 7.2 zachycuje grafické porovnání sušících časů u konvenčního a podtlakového sušení plastového materiálu. K tomuto porovnání sušících časů jsem vybral často používaný materiál ve výrobě, Polyamid (PA).

Tab. 10 Časové a tepelné hodnoty u podtlakových (vakuových) sušiček

Parametry pro sušení termoplastů			
Termoplasty určené pro vstřikování	Zbytkový obsah vody po vysušení [hm. %]	Doporučená teplota sušení [°C]	Doba sušení v podtlakové sušárně [min]
ABS	0,10	80-85	20-25
ABS/PC	0,02	100	25-30
LCP	0,02	150	20-50
PA	0,20-0,10	80-85	20-30
PBT	0,02	120	20-25
PC	0,02	120	20-25
PC/PBT	0,02	125	20-25
PEEK	0,20-0,10	150	25-30
PEI	0,02	150	40-60
PES	0,05-0,02	150	25-30
PET	0,01	150	30-35
PMMA	0,02-0,04	85	30
POM	0,20-0,10	80-110	25
PPO	0,02	100-120	25
PPS	0,02	150	25
PUR	0,02	125-140	25
PSU	0,02	150	25-30
SAN	0,20-0,10	80	20-40

Tab. 11 Časové a tepelné hodnoty u horkovzdušných sušáren a u metody vysoušení suchým vzduchem¹³

Parametry pro sušení termoplastů				
Termoplasty určené pro vstřikování	Zbytkový obsah vody po vysušení [hm. %]	Doporučená teplota sušení [°C]	Doba sušení v horkovzdušné sušárně [h]	Doba sušení suchým vzduchem [h]
SB, SAN, ABS, TPE	0,05	70-80	4	2-3
PP/M, PP/SV	0,05	110	4	2-3
PA6, PA6,6, PA11, PA12	0,20	80-85	6	4
CA, CAB, CAP	0,15	70-80	4	2-3
PA/M/SV, PA6,6/M/SV	0,20	80-90	6	4
PBT, PBT/SV	0,03	120	4	3
PC, PC/SV, PET, PET/SV	0,02	120	4	2-3
PMMA	0,05	80-90	4	3
PC-ABS, PC-ABS/M	0,03	110-120	4	2-3
PPS	0,03	130-150	4	3
POM, POM/SV, mPPO	0,05	100-110	3	2
PSU	0,03	130	4	3

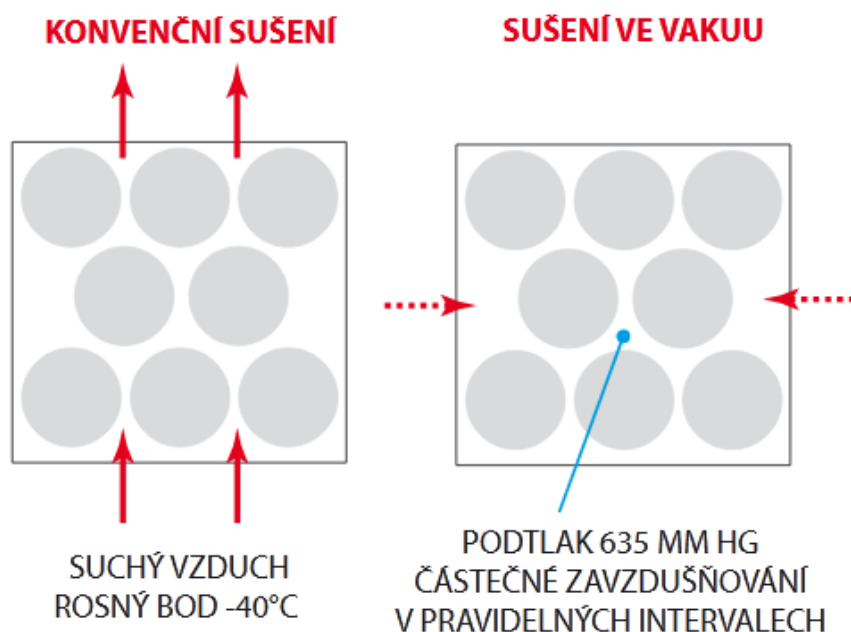


Obr. 7.2 Porovnání sušících časů

7.2 Podtlakové sušičky vs. konvenční sušení

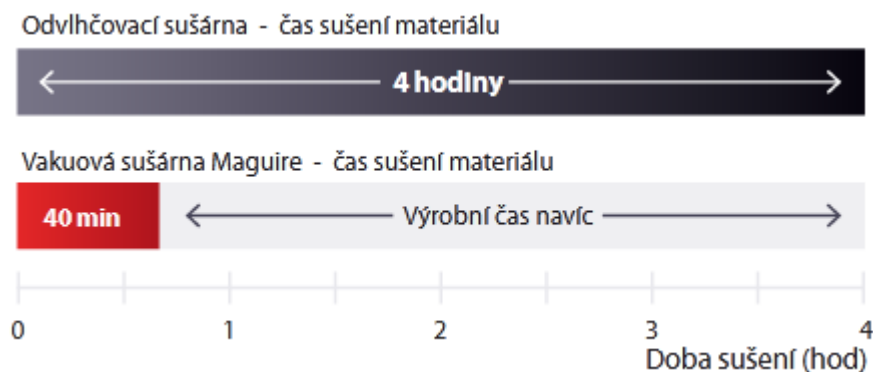
Podtlakové (vakuové) sušičky díky vlivu podtlaku mají dobu vysušení materiálu až 6krát kratší než sušičky konvenční a pro prototypový typ výroby jsou nejvhodnější. Zkrácením času sušení se snižuje úspora energie, a to takřka o 80 %.

Kinetika sušení u konvenčních sušících zařízení je dána rozdílem par na povrchu materiálu (granulí) a parciálních tlaků suchého vzduchu. Při teplotě vzduchu 80 °C a hodnotě rosného bodu -40 °C je parciální tlak 190 Pa. Při zcela nasycené mezní vrstvě vodní parou (100 % relativní vlhkost), bude parciální tlak při teplotě vzduchu 80 °C na hodnotě 47 360 Pa, což činí v tomto ideálním příkladu rozdíl tlaků 0,47 bar. U podtlakových sušiček se využívá podtlaku 635 mm rtuťového sloupce, a to v přepočtu připadá na hodnotu tlaku 0,85 bar a to je značný rozdíl. Na obr. 7.3 je schéma průběhu sušení ve vakuu a konvenční metodou.⁹



Obr. 7.3 Schémata průběhu sušení ⁹

Jak už bylo zmíněno, vakuová sušička spotřebuje 6krát méně času ke konečnému vysušení materiálu vhodného pro výrobu. Pokud bude konvenční sušička potřebovat k vysušení granulí např. 4 hodiny, podtlakové sušičce postačí k témuž sušicímu výsledku 40 min. Tím snižuje náklady za spotřebovanou energii a prostojе čekajících pracovníků. Obr. 7.4 znázorňuje časové intervaly sušení v obou případech.



Obr. 7.4 Časové intervaly sušení¹¹

Názorný příklad

Výsledné hodnoty časů doby sušení a spotřeby elektrické energie u podtlakových a konvenčních sušiček jsou velmi rozdílné. Např. u materiálu PA6 trvá vysušení materiálu u konvenčního typu 4 hodiny, zatímco u podtlakového typu pouze 40 min viz. tab. 11 a 10. Podtlaková sušička spotřebuje na vysušení 1 kg materiálu cca 8 W. Konvenční sušička s využitím suchého vzduchu spotřebuje na vysušení stejného množství materiálu cca 100 W. To znamená že na vysušení 1 kg materiálu je energetický rozdíl 92 W ve prospěch podtlakové technologie sušení. Při ceně elektrické energie v průměru cca 2,2 Kč/kW je při vysušení např. 50Kg/hod materiálů úspora podtlakové sušičky 4,6 kW, což v přepočtu na peníze dané sazby činí 10 Kč.⁷

7.3 Vícekriteriální analýza podtlakových sušiček

V následujícím postupu vícekriteriálního rozhodování pro výběr nejvhodnějšího modelu sušícího zařízení, využiji dvou rozhodovacích metod a to:

- ✚ **Metoda bazická,**
- ✚ **Metoda PATTERN.**

Cílové sušicí zařízení budu vybírat z modelů podtlakových sušiček, které svými pracovními schopnostmi jsou pro danou prototypovou výrobu jednoznačně nejvýhodnější. Výběr modelů vakuových sušiček je na dnešním trhu v České republice velice omezen. Vícekriteriální analýzu budu provádět na čtyřech modelech od americké firmy Maguire:

- 1) LPD – 100H
- 2) LPD – 200H
- 3) VBD – 150
- 4) VBD – 300

7.3.1 Popis vybraných modelů

Modely LPD – 100H a LPD – 200H

Jedná se o podtlakové vysoušení plastového granulátu na principu tříkanystrového otočného karuselu. Vysoušení spočívá v otáčení nerezových kanystrů do tří pracovních poloh. V počáteční první poloze, ve které se kanystr ukotví, probíhá ohřev daného materiálu na požadovanou teplotu a dobu. Po ukončení doby ohřevu se kanystr s vyhřátým materiálem otočí do další pracovní polohy, kde za pomoci vakua probíhá vysátí vlhkosti z daného plastového materiálu. Takto vysušený materiál se po ukončení druhé vakuové pracovní fáze otočí do konečné třetí polohy, kde je připraven na přesun do vstřikovacího stroje k výrobě. Na obr. 7.5 a 7.6 jsou modely LPD – 100H a LPD – 200H. V tab. 12 jsou uvedeny technické parametry LPD sušících strojů.



Obr. 7.5 Model LPD – 100H¹⁶



Obr. 7.6 Model LPD – 200H¹⁰

Tab. 12 Technické parametry LPD sušiček¹⁰

Parametr	Model	
	LPD – 100H	LPD – 200H
Maximální sušící teplota	175 °C	175 °C
Sušící výkon	50 kg/hod	90 kg/hod
Objem kanystru	30 l	57 l
Hmotnost netto	330 kg	430 kg
Hmotnost bruto	360 kg	460 kg
Přepravní rozměry	1 x 0,9 x 2,2 m	1 x 0,9 x 2,4 m
Výkon topení	5 kW/22 A	5 kW/22 A
Výkon dmyhadla	1,86 kW/6,2 A	2,6 kW/6,2 A
Instalovaný příkon	3x400 V/50 HZ 6,96 kW/20 A	3x400 V/50 HZ 7,7 kW/20 A
Potřeba stlačeného vzduchu	8 bar	8 bar
Spotřeba vzduchu	3,4 m ³ /hod	4 m ³ /hod

Modely VBD – 150 a VBD – 300

Jedná se opět o podtlakové vysoušení plastového materiálu. Vysoušení spočívá v gravitačním propadávání materiálů do třech na sebe navazujících pracovních zón. Sušička je uspořádána do tří pater vertikálního uspořádání. V nejvyšším patře probíhá při zadané teplotě ohřev materiálů v izolované nerezové komoře. Po uplynutí doby ohřevu, materiál vlastní vahou propadá do druhé pracovní zóny, izolované nerezové vakuové komory. Zde probíhá za pomoci vakua sací procedura na odstranění vlhkosti z daného materiálu. Do třetí zóny, izolované retenční komory, již propadáva zcela vysušen materiál, který je připraven k dalšímu zpracování na vstřikovacím stroji. Na obr. 7.7 a 7.8 jsou zobrazeny gravitační vakuové sušící stroje. V tabulce 13 jsou uvedeny technické parametry těchto produktů.⁹



Obr. 7.7 Vakuový sušící stroj VBD – 150⁵



Obr. 7.8 Vakuový sušící stroj VBD – 300⁵

Tab. 13 Technické parametry sušičky ULTRA – 150 a 300¹¹

Parametr	Model	
	VBD – 150	VBD – 300
Maximální sušící teplota	190 °C	190 °C
Sušící výkon	68 kg/hod	136 kg/hod
Objem vakuové komory	28,3 l	56,6 l
Hmotnost netto	227 kg	416 kg
Celková výška jednotky	2,44 m	3,02 m
Výkon topení	11 kW	18 kW
Výkon dmychadla	0,75 kW	2,2 kW
Zdroj napájení	3x 400 V/50 HZ 20 A	3x 400 V/50 HZ 20 A
Potřeba stlačeného vzduchu	5,86 bar	5,86 bar
Požadavky na stlačený vzduch, průměrný průtok	147 l /min	184 l/min

7.4 Metoda porovnání v trojúhelníku páru

Nejdříve u všech vybraných modelů (variant) určím koeficient významnosti jednotlivých kritérií. Na tuto početní operaci jsem zvolil metodu porovnávání v trojúhelníku páru, která má následující postup:

1) Sestaví se Trojúhelníková tabulka párů kritérií ze soustavy m kritérií s obsahem N kombinací dle vztahu:

$$N = \frac{m(m-1)}{2} \quad (7.4)$$

N ...počet kombinací vytvořených v trojúhelníkové tabulce párů kritérií

m ...počet kritérií

2) V sestrojené trojúhelníkové tabulce, která je tvořena jednotlivými páry kritérií, označí expert zakroužkováním to kritérium v daném páru, které je pro něj významnější. Pokud expert nedokáže kritéria v některém páru porovnat nebo je pokládá za stejně významná, může označit obě.

3) Každé kritérium dostává tolik bodů, kolikrát bylo v trojúhelníkové tabulce označeno zakroužkováním. Jestliže byla označena v některém páru obě kritéria, pak každé z těchto kritérií získává 0,5 bodu.

4) Body, které jednotlivá kritéria získala se zapíší do tabulky.

5) Stanoví se koeficient významnosti (B_j) u všech jednotlivých kritérií. Celkový zisk bodů jednotlivých kritérií se vydělí počtem expertů, tím se získá průměrný počet bodů, který udává hodnotu koeficientu významnosti u každého kritéria.¹

Vybraná kritéria

Všechny kritéria, kromě ceny, byly vybrány z technických parametrů daných modelů viz tab. 13 a 12.

Ceny jednotlivých modelů uvádí následující tab. 14 a jsou představeny v amerických dolarech. Tab. 14 taky rozděluje modely do variant A, B, C, D.

Tab. 14 Ceny modelů podtlakových sušiček

Varianta	Modely produktů	Cena [€]
A	LPD – 100	do 20 000
B	LPD – 200	do 23 000
C	VBD – 150	do 18 000
D	VBD – 300	do 23 000

V dalším postupu budu kalkulovat z výše uvedenými nejvyššími cenami. V tab. 15 jsou uvedena zvolená kritéria a jejich jednotlivě určený typ (výnos, náklad). Parametry jednotlivých kritérií jsou zaznamenány v tab. 16.

Tab. 15 Zvolená kritéria a jejich jednotlivě určený typ

Číslo	Název kritéria	Jednotka	Typ kritéria
1	Cena	€	Náklad
2	Sušicí výkon	kg/h	Výnos
3	Maximální sušicí teplota	°C	Výnos
4	Objem vakuové komory, kanystru	l	Výnos
5	Potřeba stlačeného vzduchu	bar	Náklad
6	Spotřeba vzduchu	l/min	Náklad

Tab. 16 Parametry zvolených kritérií

Varianty	Kritéria					
	Cena [\$]	Sušící výkon [kg/h]	Maximální sušící teplota [°C]	Objem vakuové komory, kanystru [l]	Potřeba stlačeného vzduchu [bar]	Spotřeba vzduchu [l/min]
A	20 000	50	175	30	8	56,7
B	23 000	90	175	57	8	66,7
C	18 000	68	190	28,3	5,86	147
D	23 000	136	190	56,6	5,86	184

V trojúhelníkových tabulkách 17, 18, 19, 20 a 21 jsou zaznamenány významnosti kritérií v daném páru od jednotlivých expertů.

Tab. 17 Významnosti kritérií – Vedoucí výroby

1	1	1	1	1
2	3	4	5	6
	2	2	2	2
	3	4	5	6
		3	3	3
		4	5	6
			4	4
			5	6
				5
				6

Tab. 18 Významnosti kritérií – Technolog

(1)	(1)	(1)	(1)	(1)
2	3	4	5	6
	2	(2)	2	(2)
	(3)	4	(5)	6
		(3)	3	(3)
		4	(5)	(6)
			4	(4)
			(5)	6
				(5)
				6

Tab. 19 Významnosti kritérií – Manažer nákupu

(1)	(1)	(1)	(1)	(1)
(2)	3	4	(5)	6
	(2)	2	2	(2)
	(3)	(4)	(5)	(6)
		3	3	(3)
		(4)	(5)	(6)
			4	(4)
			(5)	(6)
				(5)
				6

Tab. 20 Významnosti kritérií – Obsluha sušičky

1	1	1	1	1
2	3	4	5	6
	2	2	2	2
	3	4	5	6
		3	3	3
		4	5	6
			4	4
			5	6
				5
				6

Tab. 21 Významnosti kritérií – Lisař

1	1	1	1	1
2	3	4	5	6
	2	2	2	2
	3	4	5	6
		3	3	3
		4	5	6
			4	4
			5	6
				5
				6

V tab. 22 jsou zaznamenána a sečtena bodová ohodnocení jednotlivých kritérií spolu s výpočty koeficientů významnosti B_j dle vztahu:

$$B_j = \frac{\sum_1^p \gamma_{kj}}{p} \quad (7.5)$$

Kde:

p ...počet expertů

m ...počet kritérií

γ_{kj} ...počet bodů přiřazených j-tému kritériu k-tým expertem

Tab. 22 Bodové ohodnocení a výpočet koeficientu významnosti z bodového ohodnocení

Expert	Kritéria					
	1	2	3	4	5	6
1	5	2,5	1	1	3	2,5
2	5	2	2,5	1	4	0,5
3	4	1,5	1	2,5	4,5	1,5
4	4,5	3	2,5	1,5	3	0,5
5	4,5	3	1,5	2	3	1
Celkem	23	12	8,5	8	17,5	6
B_j	4,6	2,4	1,7	1,6	3,5	1,2

Příklad výpočtu koeficientu významnosti u prvního experta u prvního kritéria:

$$B_j = \frac{\sum_1^p \gamma_{kj}}{p}$$

$$B_j = \frac{23}{5} = 4,6 \quad (7.5)$$

Koeficienty významnosti je vhodné normovat, pro jejich vzájemnou srovnatelnost. Normování koeficientu vypočteme dle vztahu:

$$B_{jN} = \frac{B_j}{\sum_{j=1}^m B_j} \quad (7.6)$$

$$\sum_{j=1}^m B_{jN} = 1 \quad (7.7)$$

Kde:

m ...počet kritérií

B_{jN} ...normovaný koeficient významnosti j-tého kritéria

B_j ... nenormovaný koeficient významnosti j-tého kritéria

V tab. 23 je proveden výpočet normovaného koeficientu významnosti B_{jN} z uvedených hodnot koeficient významnosti B_j .

Tab. 23 výpočet normovaného koeficientu významnosti

	Kritéria					
	1	2	3	4	5	6
B_j	4,6	2,4	1,7	1,6	3,5	1,2
B_{jN}	0,307	0,160	0,113	0,107	0,233	0,080

Ukázka výpočtu normovaného koeficientu významnosti j-tého kritéria B_{jN} .

$$B_{jN1} = \frac{4,6}{15} = 0,307 \quad (7.6)$$

7.5 Bazická metoda

Jako první metodu vícekritériálního rozhodování použijí metodu bazickou.

Postup:

1) O každé jednotlivé variantě si zjistím potřebné informace (typ a hodnota každého kritéria)

2) Zhotovím bazickou (fiktivní) variantu (např. z veškerých dat uvažovaných variant vytvořím průměrnou hodnotu).

3) U všech uvažovaných variant provedu dílčí porovnání s bazickou variantou (z_{ij}) i s počtem s normovaným koeficientem významnosti.

Početní vztah pro kritéria typu náklady:

$$z_{ij} = \frac{h_{bj}}{h_{ij}} \cdot B_{jN} \quad (7.8)$$

Početní vztah pro kritéria typu výnosy:

$$z_{ij} = \frac{h_{ij}}{h_{bj}} \cdot B_{jN} \quad (7.9)$$

Kde:

h_{bj} ...hodnota j-tého kritéria u bazické metody

h_{ij} ...hodnota j-tého kritéria u i-té varianty

B_{jN} normovaný koeficient významnosti j-tého kritéria

4) Stanovím hodnotu relativní užítlosti S_j pro každou jednotlivou variantu.

Početní vztah pro výpočet relativní užítlosti:

$$S_j = \sum_{j=1}^{j=m} z_{ij} \quad (7.10)$$

Kde:

m ...počet kritérií

5) Na závěr zhodnotím vypočítané výsledky (V_j). Nejlépe se umístí varianta s maximální hodnotou relativní užítlosti S_j a naopak poslední je varianta s minimální hodnotou relativní užítlosti S_j .¹

V tab. 24 je zaznamenán normovaný koeficient významnosti j-tého kritéria a proveden výpočet bazické varianty.

Tab. 24 Výpočet bazické varianty

Varianty	Kritéria					
	1	2	3	4	5	6
	Náklad	Výnos	Výnos	Výnos	Náklad	Náklad
A	20 000	50	175	30	8	56,7
B	23 000	90	175	57	8	66,7
C	18 000	68	190	28,3	5,86	147
D	23 000	136	190	56,6	5,86	184
B_{jN}	0,307	0,160	0,113	0,107	0,233	0,080
h_{bj}	21 000	86	182,5	42,975	6,93	113,6

Výpočet bazické varianty h_{bj} :

$$h_{b1} = \frac{1}{4} \cdot (20\,000 + 23\,000 + 18\,000 + 23\,000) = \mathbf{21\,000}$$

$$h_{b2} = \frac{1}{4} \cdot (50 + 90 + 68 + 136) = \mathbf{86}$$

$$h_{b3} = \frac{1}{4} \cdot (175 + 175 + 190 + 190) = \mathbf{182,5}$$

$$h_{b4} = \frac{1}{4} \cdot (30 + 57 + 28,3 + 56,6) = \mathbf{42,975}$$

$$h_{b5} = \frac{1}{4} \cdot (8 + 8 + 5,86 + 5,86) = \mathbf{6,93}$$

$$h_{b6} = \frac{1}{4} \cdot (56,7 + 66,7 + 147 + 184) = \mathbf{113,6}$$

V následující tabulce 25 je propočet relativní účinnosti S_j a v následné tabulce 26 je závěrečné vyhodnocení variant metody bazické.

Tab. 25 Výpočet relativní užítlosti S_j

Varianty	Kritéria						S_j
	1	2	3	4	5	6	
	Náklad	Výnos	Výnos	Výnos	Náklad	Náklad	
A	0,322	0,093	0,108	0,075	0,202	0,160	0,96
B	0,280	0,167	0,108	0,142	0,202	0,136	1,035
C	0,358	0,127	0,118	0,070	0,276	0,062	1,011
D	0,280	0,253	0,118	0,141	0,276	0,049	1,117
B_{jN}	0,307	0,160	0,113	0,107	0,233	0,080	
h_{bj}	21 000	86	182,5	42,975	6,93	113,6	

Příklady provedených výpočtů pro kritéria typu náklad a výnos u varianty A:

$$z_{ij} = \frac{h_{bj}}{h_{ij}} \cdot B_{jN}$$

$$z_{A1} = \frac{21\,000}{20\,000} \cdot 0,307 = \mathbf{0,322} \quad (7.8)$$

$$z_{ij} = \frac{h_{ij}}{h_{bj}} \cdot B_{jN}$$

$$z_{A2} = \frac{50}{86} \cdot 0,160 = \mathbf{0,093} \quad (7.9)$$

Příklad provedeného výpočtu relativní užítlosti u varianty A:

$$S_j = \sum_{j=1}^{j=m} z_{ij}$$

$$S_A = 0,322 + 0,093 + 0,108 + 0,075 + 0,202 + 0,160 = \mathbf{0,96} \quad (7.10)$$

Tab. 26 Výsledné pořadí variant bazické metody

Varianta	Relativní užitnost	Celkové pořadí
A	0,96	4.
B	1,035	2.
C	1,011	3.
D	1,117	1.

7.6 Metoda PATTERN

Postup:

1) O každé jednotlivé variantě si zjistím žádoucí informace.

2) Naleznu nejhorší hodnotu (h_{bj}) u každého jednotlivého kritéria. Tato nejhorší hodnota je určena jako základ (báze) a je k ní přiřazen index 1,00 (I_{bj}). Přiřazený index bude později taky ovlivněn koeficientem významnosti.

3) U všech variant a jednotlivých kritérií stanovím indexy (I_{ij}). Tyto pak ovlivním patřičným koeficientem významnosti. Použiji vztahy jako u předchozí metody bazické. V tomto případě je bází nejhorší hodnota.

4) Stanovím hodnotu relativní užitnosti S_j pro každou jednotlivou variantu.

Početní vztah pro výpočet relativní užitnosti:

$$S_j = \sum_{i=1}^{j=m} z_{ij} \quad (7.11)$$

Kde:

m ...počet kritérií

5) Na závěr provedu celkové hodnocení z vypočítaných výsledků (V_j). Nejlépe se opět umístí varianta s maximální hodnotou relativní užitnosti S_j a naopak varianta s minimální hodnotou relativní užitnosti S_j zaujímá místo poslední.¹

V tab. 27 základních údajů si nejprve vyhledám nejhorší hodnoty variant a k nim bude následně přiřazen index 1,00. U ostatních hodnot index vypočítám z následujících vztahů.

Početní vztah pro kritéria typu náklady:

$$I_{ij} = \frac{h_{bj}}{h_{ij}} \quad (7.12)$$

Početní vztah pro kritéria typu výnosy:

$$I_{ij} = \frac{h_{ij}}{h_{bj}} \quad (7.13)$$

Kde:

I_{ij} ... Index j-tého kritéria u i-té varianty

h_{bj} ... nejhorší hodnota i j-tého kritéria

h_{ij} ... hodnota j-tého kritéria u i-té varianty

Z hodnot indexů I_{ij} a z normovaných koeficientů významnosti j-tých kritérií vypočítám hodnotu z_{ij} . Na závěr provedu výpočet relativní účinnosti S_j a provedu vyhodnocení metody.

Tab. č. 27 Výpočet indexů

Varianty	Kritéria					
	1	2	3	4	5	6
	Náklad	Výnos	Výnos	Výnos	Náklad	Náklad
A	20 000	50	175	30	8	56,7
Index	1,150	1,000	1,000	1,060	1,000	3,245
B	23 000	90	175	57	8	66,7
Index	1,000	1,800	1,000	2,014	1,000	2,759
C	18 000	68	190	28,3	5,86	147
Index	1,178	1,360	1,086	1,000	1,365	1,252
D	23 000	136	190	56,6	5,86	184
Index	1,000	2,720	1,086	2,000	1,365	1,000
B_{jN}	0,307	0,160	0,113	0,107	0,233	0,080

Příklad výpočtu indexu pro variantu A1 – náklad:

$$I_{ij} = \frac{h_{bj}}{h_{ij}}$$

$$I_{A1} = \frac{23\,000}{20\,000} = \mathbf{1,150} \quad (7.12)$$

Příklad výpočtu indexu pro variantu A4 – výnos:

$$I_{ij} = \frac{h_{ij}}{h_{bj}}$$

$$I_{A4} = \frac{30}{28,3} = \mathbf{1,060} \quad (7.13)$$

Příklad výpočtu hodnoty z_{ij} u varianty A1:

$$z_{ij} = I_{ij} \cdot B_{jN} \quad (7.14)$$

$$z_{A1} = 1,150 \cdot 0,307 = \mathbf{0,353} \quad (7.14)$$

Tab. 28 Výpočet relativní užítlosti

Varianty	Kritéria						
	1	2	3	4	5	6	S _j
	Náklad	Výnos	Výnos	Výnos	Náklad	Náklad	
A Index	1,150	1,000	1,000	1,060	1,000	3,245	1,232
z _{ij}	0,353	0,160	0,113	0,113	0,233	0,260	
B Index	1,000	1,800	1,000	2,014	1,000	2,759	1,377
z _{ij}	0,307	0,288	0,113	0,215	0,233	0,221	
C Index	1,178	1,360	1,086	1,000	1,365	1,252	1,228
z _{ij}	0,362	0,218	0,123	0,107	0,318	0,100	
D Index	1,000	2,720	1,086	2,000	1,365	1,000	1,477
z _{ij}	0,307	0,435	0,123	0,214	0,318	0,080	
B _{jN}	0,307	0,160	0,113	0,107	0,233	0,080	

Příklad provedeního výpočtu relativní užítlosti u varianty A:

$$S_j = \sum_{j=1}^{j=m} z_{ij}$$

$$S_A = 0,353 + 0,160 + 0,113 + 0,113 + 0,233 + 0,260 = \mathbf{1,232} \quad (7.11)$$

Tab. 29 Výsledné pořadí variant metody PATTERN

Varianta	Relativní užitnost	Celkové pořadí
A	1,232	3.
B	1,377	2.
C	1,228	4.
D	1,477	1.

Tabulkové porovnání celkového pořadí obou metod (bazická, PATTERN).

Tab. 30 Porovnání celkového pořadí obou metod (bazická, PATTERN)

Varianta	Vícekritériální metody			
	Metoda bazická		Metoda PATTERN	
	Relativní užitnost	Celkové pořadí	Relativní užitnost	Celkové pořadí
A	0,96	4.	1,232	3.
B	1,035	2.	1,377	2.
C	1,011	3.	1,228	4.
D	1,117	1.	1,477	1.

U obou vícekritériálních metod jsme se dopracovali ke shodnému konečnému vítěznému výsledku. Vítězná varianta u metody bazické i u metody PATTERN je varianta D. Výsledné pořadí obou metod (Metoda bazická, PATTERN metoda) se neshoduje jen na druhé a třetí pozici, které nejsou pro tento projekt prioritní.

Vítězná varianta D:

Vakuová sušička **VBD - 300**



Obr. 7.9 Vítězná varianta D; Vakuová sušička VBD – 300⁵

8 Návratnost investice do projektu

Každá investice finančních prostředků do různých projektů je pro investora zajímavá, jen pokud je vysoké procento reálné návratnosti v daném časovém horizontu. Návratnost je tedy doba, za kterou se vynaložené investice vrátí. K tomu, jestli danou investici realizovat, napomáhá výpočet doby návratnosti.

$$\text{Návratnost} = \frac{\text{počáteční kapitálový výdaj na investici}}{\text{peněžní příjmy z investice}} \quad [\text{roky}]$$

Počáteční kapitálový výdaj na investici je cena vítězného sušícího zařízení **Ultra - 300**. Cena sušícího zařízení je **23 000 \$ = 579 945 Kč**. Výpočet převodu z dolaru na české koruny jsem provedl při aktuálním měnovém kurzu, kdy **1 \$ = 25,215 Kč**.

Peněžní příjmy z investice jsou příjmy z vítězného sušícího zařízení **Ultra - 300**. Cena peněžních příjmů ze zařízení se pohybuje při odečtení všech provozních nákladů (vzduch, elektřina, běžná údržba) v průměru okolo 500 Kč za vysušení plastového materiálu k jedné výrobní zakázce. Budu proto kalkulovat s touto částkou. Denně se vysuší materiál v průměru ke dvěma zakázkám. Peněžní příjmy z investice jsou tedy 1000 Kč denně.

Při samotném výpočtu dojdeme k následujícímu výsledku doby návratnosti.

$$\text{Návratnost} = \frac{579\,945}{1000} = 579,945 \quad [\text{dny}]$$

Při přepočtu získaného výsledku z dnů na roky dostaneme konečný výsledek. Počet pracovních dnů v roce je průměrně 250.

$$\text{Návratnost} = \frac{579,945}{250} = 2,32 \quad [\text{roky}]$$

Z výsledku je zřejmé, že pokud sušící zařízení bude pracovat pouze v pracovní dny v roce bude návratnost vynaložené investice 2,32 roku.

9 Shrnutí a přínos

Výměna výrobního zařízení nebo stroje je vždy veliký zásah do výrobního procesu již zaběhlé a provozuschopné firmy a je třeba vše důkladně zvážit a optimálně naplánovat.

Cílem vícekritériálního rozhodování byla modernizace a náhrada zastaralé sušící jednotky plastových materiálů v provozu lisovny výběrem nového zařízení. K tomuto účelu byly vybrány čtyři varianty moderních vakuových sušících jednotek, ze kterých vzešla jedna vítězná. Sušící jednotka je v provozu lisovny situována k nyní nejvýkonnějšímu vstřikovacímu lisu o maximálním objemu vstřikovací komory 2290 cm³ (Kraus Maffei). Zde je velmi výhodný a nejvíce žádoucí přínos v objemu vakuové komory vítězné sušící jednotky. U této sušičky je tento objem největší. Tím se dosáhne vysušení většího množství plastového materiálu za určitou jednotku času, než u ostatních vybraných modelů za tutéž časovou jednotku. I když se jedná o variantu, která je finančně nejdražší, je třeba si uvědomit přínos a výhody tohoto moderního sušícího zařízení.

Klíčové výhody vakuového sušení plastových materiálů:

- ✓ Kontinuální dávkovaný sušící proces,
- ✓ sušení materiálu s nízkými provozními náklady a malou spotřebou energie,
- ✓ zabránění degradace materiálů, který není vystaven dlouhodobému tepelnému zatížení,
- ✓ výrobní čas navíc díky rychlému sušicímu procesu,
- ✓ nenáročnost na výrobní plochu,
- ✓ provozní teplota až 190°C u Ultra sušící jednotky,
- ✓ údržba s nízkými náklady bez výměny vysoušedla a filtrů,
- ✓ 5 let záruční doba.¹⁷

Investice do vítězného modelu je z hlediska technického i ekonomického pohledu do budoucna výhodná.

10 Diskuze a závěr

Diskuze

Výroba plastových produktů vstřikovací technologií je v současné době ta nejlepší zpracovatelská varianta. K tomu, aby mohla být tato zpracovatelská činnost tváření plastového materiálu kvalitní, musí splňovat spoustu nepostradatelných výrobních a procesních aspektů. Mezi jeden z nejdůležitějších aspektů patří kvalitní vysušení plastového materiálu před samotným výrobním procesem. Nedostatečné a nekvalitní vysušení materiálu by mělo za následek zvýšenou zmetkovitost výroby, která by se projevila ve specifických vadách daných plastových produktů. Mezi nejčastější vadu pak bývají stopy vlhkosti na povrchu plastového výstřiku tzv. „stříbření“. Nejdůležitějším krokem při odstranění těchto vad je vhodná volba sušicího zařízení a ostatního příslušenství (nasávací a dávkovací jednotky aj.). K této již zmíněné prototypové výrobě jsou nejvhodnější podtlakové sušicí jednotky. Jejich rychlost a kvalita sušení zaručuje dokonalou přípravu vysušeného plastového materiálu k výrobnímu procesu. Správné vysušení materiálu zásadně ovlivňuje základní požadovaný výrobní cíl, splnit jakostní a kvantitativní kritéria vyrobeného plastového produktu. Uskutečnění tohoto cíle může nastat jen při kvalitním a stabilním výrobním procesu. Sušení materiálu je technologický proces, který musí být správně dle typu materiálu nastaven. Záleží na přesně zvolené hodnotě sušicí teploty, aby nedocházelo k přehřátí materiálu a následnému spečení. Dále pak musí být zvolena optimální doba sušení, aby nedocházelo k dlouhodobému tepelnému namáhání materiálu. Zde pak záleží na schopnostech a zkušenostech konkrétní pracovní obsluhy (zpravidla to bývá proškolený zaměstnanec).

Závěr

Cílem této diplomové práce bylo poukázat na pracovní proces při výrobě plastových výlisků, zejména pak v provozu lisovny. Zde popsat pracovní činnosti při tvorbě a opracování zhotoveného dílu, vyhledat pomocí CPM kritickou cestu těchto činností a následně vícekritériální analýzou navrhnout modernizaci u nejdéle trvající činnosti – sušení plastového materiálu.

V úvodní části diplomové práce jsem představil firmu MTT. Pomocí SWOT analýzy a Porterova modelu jsem poukázal na její vlastnosti. Dále jsem představil vnitřní základní rozdělení firmy na čtyři hlavní provoz, které jsem souhrnně popsal (oddělení konstrukce a programování, CNC obrábění, nástrojárna a lisovna plastových výlisků + měřicí a výstupní kontrola).

V následující části práce jsem se zaměřil již jen na provoz lisovny. Zde jsem v logistickém sledu představil a popsal všechny základní pracovní činnosti, týkající se výroby plastových výlisků vstřikovací technologií, počínaje zadáním výrobního úkolů

vedoucím výroby až po předání těchto zhotovených plastových produktů k expedici. Pomocí CPM analýzy jsem u těchto aktivit našel kritickou cestu a na ní konkretizoval nejdéle trvající činnost celkové výroby – sušení plastového materiálu v sušícím zařízení. Po přezkoumání tohoto zatím plně funkčního zařízení jsem zjistil, že je již zastaralého roku výroby a mohlo by u něj dojít k nepředpokládané poruše a tím ke vzniku nežádoucí komplikaci při výrobě plastových produktů. Proto jsem navrhl inovaci tohoto stávajícího sušícího zařízení výměnou za zařízení nové.

V konečné fázi projektu bylo za pomoci vícekritériálního rozhodování různých expertů vybráno jedno vítězné sušící zařízení. Nejprve jsem všem expertům charakterizoval dnešní možnosti a metody vysoušení plastových materiálů, mezi které patří konvenční metody vysoušení a to – sušení horkým vzduchem (horkovzdušné sušičky), sušení suchým vzduchem (kompaktní sušičky), sušení tlakovým vzduchem (tlakovzdušné sušičky) a jedna nekonvenční metoda – sušení ve vakuu (podtlakové sušičky). Vzhledem k tomu, že se jedná o prototypovou výrobu, kde je největší prioritou čas, byla jednoznačně vybrána metoda sušení ve vakuu (podtlakové sušičky), která má v některých případech až několikanásobně kratší dobu vysoušení než metody konvenční. Po vyloučení konvenčních metod vysoušení jsem vybral čtyři tržně dostupné modely (varianty) vakuových sušek (LPD 100H, LPD 200H, Ultra – 150 a Ultra – 300). Za pomoci dvou vícekritériálních metod (Bazická metoda, metoda PATTERN) na kterých se podílelo pět expertů (vedoucí výroby, technolog, manažer nákupu, obsluha sušících zařízení, lisař) byla po zhodnocení všech variant vybraná vítězná vakuová sušička Ultra – 300.

Poděkování

Mé poděkování patří panu prof. Ing. Jiřímu Hrubému, CSc. za cenné rady, připomínky, odborné vedení, praktickou pomoc a ochotu, kterou mi při tvorbě diplomové práce věnoval.

Seznam použité literatury

1. ŠAJDLEROVÁ, Ivana. *Organizace a řízení výroby: učební text*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, ©2012, 223 s. ISBN 978-80-248-2775-9.
2. ŠAJDLEROVÁ, Ivana a Miloslav KONEČNÝ. *Projektový management*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, ©2008, 141 s. ISBN 978-80-248-1686-9.
3. Běhálek, Luboš. Navlhavost a sušení plastů - PDF. *Docplayer*. [online]. Copyright © DocPlayer.cz [cit. 2020-01-30]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/6854933-Navlhavost-a-suseni-plastu.html>
4. *Firemník: MOULDS AND TOOLS - TECHNIC s.r.o.* [online]. [cit. 2020-04-01]. Dostupné z: <http://www.firemnik.cz/firma/moulds-and-tools-technic-sro/>
5. *Gravitační vakuové sušičky: Vakuové sušičky VBD* [online]. Liberec [cit. 2020-03-05]. Dostupné z: <https://www.amcz.cz/gravitacni-vakuove-susicky/>
6. *Hexagon: GLOBAL Classic* [online]. [cit. 2020-03-25]. Dostupné z: <https://www.hexagonmi.com/cs-CZ/products/coordinate-measuring-machines/bridge-cmms/global-classic>
7. *Jiné sušení plastů: Zcela jiné sušení plastů* [online]. [cit. 2020-02-19]. Dostupné z: <https://www.amcz.cz/jine-suseni-plastu/>
8. Lendfeld, Petr. Technologie II., zpracování plastů. *Katedra strojírenské technologie* [online]. [cit. 2020-04-14]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/obsah_plasty.htm
9. *Maguire: Podtlakové sušicí stroje* [online]. Liberec, 2014 [cit. 2020-02-11]. Dostupné z: <http://www.maguireczech.com/cz/katalog/podtlakove-susici-stroje/10>
10. *MAGUIRE PRODUCTS INC.: LPD Dryer* [online]. ©2018 [cit. 2020-03-18]. Dostupné z: http://www.maguire.com/ps_image/pdf/LPD-30-100-200.pdf
11. *MAGUIRE PRODUCTS, INC.: VBD-150 VBD-300 Vakuová dávková sušička* [online]. ©2017 [cit. 2020-02-27]. Dostupné z: http://www.maguire.com/ps_image/pdf/VBD-150-300_CZECH.pdf

12. *MM Průmyslové spektrum: Podtlakové sušení navlhavých materiálů* [online]. 2002 [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/podtlakove-suseni-navlhavych-materialu.html>
13. *MM Průmyslové spektrum: Snížení rizika vzniku vad při vstřikování plastových dílů* [online]. 2014 [cit. 2020-02-19]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/snizeni-rizika-vzniku-vad-pri-vstrikovani-plastovych-dilu.html>
14. *MTT - Moulds and Tools - Technic s.r.o.: Výroba prototypových a malosériových vstřikovacích forem ze slitin hliníku* [online]. [cit. 2020-01-27]. Dostupné z: <https://www.mtt.cz/>
15. *Struktura polymerů a její vliv na vlastnosti. Publi.cz – platforma pro multimediální eBooky neboli mKnihy* [online]. [cit. 2020-01-25]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/03.html>
16. *Sušení materiálu: A.M. spol. s r.o.* [online]. Liberec [cit. 2020-04-13]. Dostupné z: <https://www.amcz.cz/suseni-materialu/>
17. *Vakuové sušárny: Stěžejní výhody vakuových sušáren Maguire* [online]. [cit. 2020-03-03]. Dostupné z: http://www.maguireczech.com/media/files/klicove-vyhody-vakuovych-susaren-lpd_vbd.pdf

Seznam obrázků

- Obr. 1.1 Logo firmy MTT
- Obr. 1.2 schéma organizační struktury
- Obr. 4.1 ukázka 3D modelu
- Obr. 4.2 Návaznost Technické přípravy výroby
- Obr. 4.3 Obráběcí CNC centrum
- Obr. 4.4 Schéma konstrukčních a funkčních části vstřikovací formy
- Obr. 4.5 Vstřikovací lis
- Obr. 4.6 Měřicí přístroj Global Classic
- Obr. 5.1 Schéma dvou po sobě navazujících uzlů
- Obr. 5.2 Schéma dvou po sobě navazujících uzlů
- Obr. 5.3 Sklad vstřikovacích forem
- Obr. 5.4 Manipulační vozík
- Obr. 5.5 Vstřikovací lis
- Obr. 5.6 Vstřikovací forma
- Obr. 5.7 Sklad materiálů
- Obr. 5.8 Manipulační vozík
- Obr. 5.9 Tří kanystrová vakuová sušička
- Obr. 5.10 Pytlovaný granulát
- Obr. 5.11 Mostový jeřáb
- Obr. 5.12 Vstřikovací forma připevněna ve vstřikovacím lise
- Obr. 5.13 Programovací jednotka lisu
- Obr. 5.14 Měřicí zařízení Global Classic
- Obr. 5.15 Ukázka „propadu“ vzniklého působením smrštění
- Obr. 5.16 Odformovací vozíky
- Obr. 5.17 Vodící kolíky vozíku
- Obr. 5.18 Ukázka programově sladěného dílu
- Obr. 5.19 upnutý díl na měřicím zařízení
- Obr. 5.20 Vyplněná lisovací karta
- Obr. 5.21 Obvodová hrana, na které jsou nejčastěji otřepy, přetoky a stopy po vtokovém ústí
- Obr. 5.22 Používané nástroje při dokončovací činnosti
- Obr. 5.23 Klopová krabice s popisovým štítkem a dodacím listem
- Obr. 5.24 Expediční místo
- Obr. 5.25 Síťový graf s červeně vyznačenou kritickou cestou
- Obr. 5.26 Vakuová sušička plastových materiálů LPD – 12H
- Obr. 5.27 Výrobní štítek vakuové sušičky
- Obr. 6.1 Plastové materiály v podobě granulí
- Obr. 6.2 Viditelné stopy vlhkosti na výstřiku tzv. stříbření

Obr. 6.3 Schématické znázornění a výpočetní vztah pro měření vlhkosti
 Obr. 6.4 Halogenový analyzátor Sartorius
 Obr. 6.5 Horkovzdušné sušící silo SHD-U
 Obr. 6.6 Kompaktní sušička SCD - 600U/400H - LC – D
 Obr. 6.7 Tlakovzdušná sušička A-SCAD
 Obr. 6.8 Gravitační vakuová sušička VBD
 Obr. 7.1 Znázorňující procentuální významnost kritérií
 Obr. 7.2 Porovnání sušících časů
 Obr. 7.3 Schémata průběhu sušení
 Obr. 7.4 Časové intervaly sušení
 Obr. 7.5 Model LPD – 100H
 Obr. 7.6 Model LPD – 200H
 Obr. 7.7 Vakuový sušící stroj VBD – 150
 Obr. 7.8 Vakuový sušící stroj VBD – 300
 Obr. 7.9 Vítězná varianta D; Vakuová sušička VBD – 300

Seznam tabulek

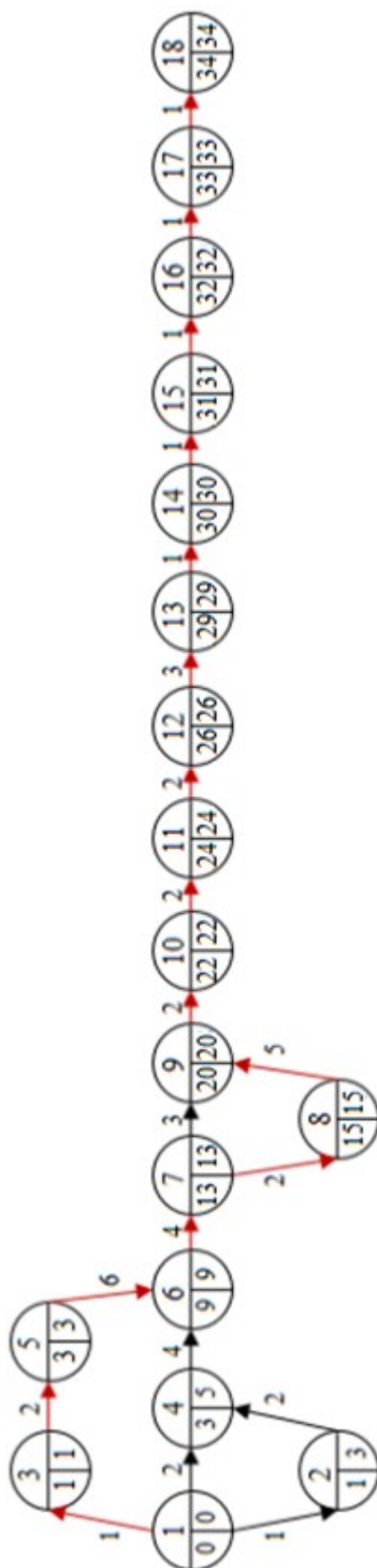
Tab. 1 SWOT analýza
 Tab. 2 Rozsahy měření na Global Classic
 Tab. 3 Sušící parametry v tabulce základních plastových materiálů
 Tab. 4 Propočet časových rezerv
 Tab. 5 propočty časových rezerv v incidenční matici
 Tab. 6 příklady navlhavých a nenavlhavých skupin plastů
 Tab. 7 Číselné oznámkování jednotlivých kritérií jednotlivými experty
 Tab. 8 Dílčí váhy
 Tab. 9 Provedené výpočty významností kritérií
 Tab. 10 Časové a tepelné hodnoty u podtlakových (vakuových) sušiček
 Tab. 11 Časové a tepelné hodnoty u horkovzdušných sušáren a u metody vysoušení suchým vzduchem
 Tab. 12 Technické parametry LPD sušiček
 Tab. 13 Technické parametry sušičky ULTRA – 150 a 300
 Tab. 14 Ceny modelů podtlakových sušiček
 Tab. 15 Zvolená kritéria a jejich jednotlivě určený typ
 Tab. 16 Parametry zvolených kritérií
 Tab. 17 Významnosti kritérií – Vedoucí výroby
 Tab. 18 Významnosti kritérií – Technolog
 Tab. 19 Významnosti kritérií – Manažer nákupu
 Tab. 20 Významnosti kritérií – Obsluha sušičky

- Tab. 21 Významnosti kritérií – Lisař
- Tab. 22 Bodové ohodnocení a výpočet koeficientu významnosti z bodového ohodnocení
- Tab. 23 Výpočet normovaného koeficientu významnosti
- Tab. 24 Výpočet bazické varianty
- Tab. 25 Výpočet relativní užítivosti S_j
- Tab. 26 Výsledné pořadí variant bazické metody
- Tab. 27 Výpočet indexů
- Tab. 28 Výpočet relativní užítivosti
- Tab. 29 Výsledné pořadí variant metody PATTERN
- Tab. 30 Porovnání celkového pořadí obou metod (bazická, PATTERN)

Seznam příloh

Příloha A Schéma síťového grafu

Příloha A: Schéma síťového grafu



Na obr. přílohy A je zobrazen síťový graf s červeně vyznačenou kritickou cestou